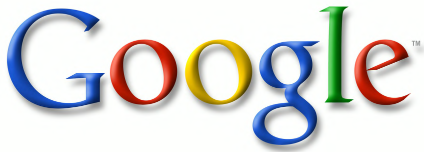



SE TAIRE ET FAIRE

LA BIOLOGIE

PARIS. — TYPOGRAPHIE A. HENNUYER, RUE D'ARCET, 7.

BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES CONTEMPORAINES

LA BIOLOGIE

PAR

LE DOCTEUR CHARLES LETOURNEAU

Pro veritate.

PARIS

C. REINWALD ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

1876

PRÉFACE

Le mot *biologie*, qui semble avoir été employé pour la première fois par Tréviranus, est loin d'avoir, dans le vocabulaire scientifique, une valeur bien déterminée. Il ne sera donc pas inutile d'en préciser le sens. Etymologiquement, il signifierait littéralement « science de la vie » et embrasserait tout ce qui se rattache, de près ou de loin, à l'étude des êtres organisés, c'est-à-dire tout un groupe de sciences, parmi lesquelles serait comprise, par exemple, l'anthropologie. C'est dans ce sens encyclopédique, qu'Aug. Comte avait pris le mot « biologie », auquel nous attacherons, quant à nous, une signification beaucoup plus restreinte. Sous l'étiquette « biologie », nous plaçons seulement l'exposition et la coordination de tous les grands faits et des grandes lois de la vie, à peu près ce qu'on entend d'ordinaire par « physiologie générale », en appliquant cette dénomination aux deux règnes organiques. Dans ce volume, nous avons seulement tâché de dire succinctement ce que c'est que la vie et com-

ment les êtres organisés se nourrissent, grandissent, se reproduisent, se meuvent, sentent et pensent.

Même en nous renfermant dans ce cadre relativement restreint, nous avons eu à considérer, à grouper, à condenser, à classer une masse énorme de faits empruntés à toutes les sciences naturelles. Parmi ces faits nombreux comme les étoiles du ciel et les sables de la mer, nous avons dû forcément faire un choix et trier autant que possible ce qu'il y avait de plus important, de plus significatif, de plus révélateur.

Nous espérons que les savants spéciaux trouveront dans notre petit travail quelques rapprochements nouveaux, peut-être quelques-unes de ces vues générales, qui manquent parfois à certains hommes fort distingués d'ailleurs, mais trop étroitement cantonnés dans tel ou tel district du savoir, comme il arrive souvent dans ce temps de division à outrance du travail scientifique. Néanmoins nous n'écrivons pas pour les hommes du métier. Nous voudrions surtout être lu par la masse des gens éclairés, que notre système si incomplet d'instruction publique a laissés à peu près étrangers à tout ce qui touche à la biologie. En effet, nos meilleurs établissements d'instruction secondaire bornent toute leur ambition à donner des notions assez complètes de physique, des notions fort incomplètes de chimie ; mais on s'y arrête beaucoup trop respectueusement sur le seuil de la biologie, dont les mystères ne sont accessibles qu'à un petit nombre d'hommes spéciaux. C'est là une lacune infiniment regrettable, infiniment préjudiciable au progrès général. C'est à cause de cette lacune, que tant d'idées

fausses et même funestes continuent à trouver dans l'opinion crédit et puissance; c'est pour cela, en grande partie, que la vraie philosophie ou plutôt la philosophie vraie, celle qui découle directement et légitimement de l'observation et de l'expérience, a tant de difficulté à se frayer un chemin.

Notre petit livre a pour objet de remédier à ce grave déficit de connaissances chez des personnes d'ailleurs éclairées. C'est donc une œuvre de vulgarisation. C'est bien à tort, que certains hommes de science trop confinés dans leur spécialité, et dont l'horizon est borné par les murs de leur laboratoire, prononcent avec dédain ce mot de *vulgarisation*. Trouver la vérité est sûrement faire œuvre pie; mais à quoi servirait la vérité découverte, si l'on ne prenait soin de la propager, de l'introduire dans le patrimoine du savoir commun?

D'autre part, il faut bien l'avouer, les travaux de vulgarisation ont été quelque peu discrédités par une foule de publications pseudo-scientifiques, où l'auteur, se méfiant beaucoup trop de l'intelligence de son lecteur, ou bien ne lui sert la science qu'à dose infinitésimale, ou bien se croit obligé de noyer le fond sous un déluge de mots légers ou plaisants, sacrifiant ainsi au travers à la fois le plus aimable et le plus dangereux de notre caractère national. La science ne mérite son nom, qu'à la seule condition de conserver une certaine noblesse quelque peu austère. Nous nous sommes gardé, quant à nous, de la dépouiller de ce qui fait sa force et nous croyons que le lecteur nous en saura gré. A notre avis, il n'est pas de personne un peu éclairée, qui, au prix d'un petit effort d'atten-

tion, ne puisse lire et comprendre ce livre, et nous estimons aussi qu'après cette lecture, elle aura acquis sur la biologie des notions suffisamment claires et complètes.

Ce travail n'est point une œuvre de polémique, mais bien un exposé de faits. Pourtant, parmi ces faits, il en est de parlants ; aussi, quand nous les avons rencontrés sur notre route, nous n'avons pas hésité à formuler les conclusions ou inductions, qui en découlent. Nous l'avons toujours fait sobrement, brièvement et sans avoir d'autre mobile que l'amour de la vérité.

Nous désirons que ce volume soit lu, lu avec fruit, et qu'il éveille, chez bon nombre de ses lecteurs, l'amour et le respect de la science, c'est-à-dire de ce qui, dans ces tristes temps, est à la fois un refuge et un espoir.

Ch. Letourneau.

TABLE DES CHAPITRES.

LIVRE I.

DE LA MATIÈRE ORGANISÉE EN GÉNÉRAL.

LIVRE II.

DES PHÉNOMÈNES PRIMORDIAUX DE LA VIE.

LIVRE III.

DE L'ACCROISSEMENT.

LIVRE IV.

DE LA GÉNÉRATION.

LIVRE V.

DE LA MOTILITÉ.

LIVRE VI.

DE L'INNERVATION.

LIVRE VII.

DES FORCES PHYSIQUES EN BIOLOGIE.

LA BIOLOGIE

LIVRE I

DE LA MATIÈRE ORGANISÉE EN GÉNÉRAL

CHAPITRE I

CONSTITUTION DE LA MATIÈRE UNITÉ DE SUBSTANCE DANS LE MONDE ORGANIQUE ET DANS LE MONDE INORGANIQUE

Les sciences d'observation exigent tout d'abord, de quiconque les veut cultiver, un acte de foi. Quoiqu'il soit parfaitement incontestable que le monde extérieur se manifeste à nous uniquement en suscitant dans notre esprit une incessante série de phénomènes de conscience, de phénomènes dits *subjectifs,* force nous est bien pourtant, sous peine de nous abîmer dans le doute préconisé par Pyrrhon et Berkeley, de croire nos sens, comme d'honnêtes et sincères témoins, alors qu'ils nous signalent l'existence, en dehors de notre être, d'un vaste univers matériel, dont les éléments sans cesse en mouvement éveillent en nous, en agissant sur notre organisme, des impressions, des sensations, et par suite des idées et des désirs.

Le monde extérieur existe, indépendamment de notre vie de conscience ; il était quand nous n'étions pas encore ; il sera quand nous ne serons plus. Sans nous arrêter, comme le faisait, il y a quelques années, M. Littré, à dis-

serter pour savoir si la certitude de l'existence du monde extérieur est de première ou de seconde qualité, laissant de côté tout raffinement métaphysique, nous devons croire fermement à l'existence réelle du monde extérieur; parce que tous nos sens ne cessent de nous crier sur tous les tons que l'*objectif*, le *non-moi* des psychologues, n'est point une chimère, parce que la croyance contraire frapperait de nullité toute observation, toute expérience, tout raisonnement et tout savoir.

La réalité du monde extérieur une fois admise, et l'homme n'arriva jamais à en douter que par une sorte de dépravation intellectuelle, on s'est naturellement demandé quelle pouvait être la constitution intime de l'étoffe de l'univers. On a soupçonné que, derrière l'apparence infiniment mobile et variée des phénomènes extérieurs, il pouvait exister une trame commune. Notre but, dans ce travail, n'étant pas de passer en revue les opinions ou les rêveries des diverses écoles philosophiques, nous nous hâterons d'exposer les théories, les systèmes les plus vraisemblables, ceux que l'observation a confirmés et qui, peu à peu, ont conquis dans la science leur droit de cité.

Leucippe semble avoir eu, le premier, l'intuition de la théorie la plus rationnelle sur la constitution de la substance universelle. Pour lui, cette substance est un amas discontinu de granules solides, infiniment petits, séparés par des espaces vides. C'est « le vide mélangé de solide », suivant une expression de Bacon.

Démocrite admettait que ces granules primordiaux étaient pleins, impénétrables, de plus, insécables, et, pour cette dernière raison, il les appela *atomes* (1).

(1) Car qu'est-ce que dit Democritus? « Qu'il y a des substances en nombre infiny, qui s'appellent *atomes*, parce qu'elles ne se peuvent diviser, différentes toutefois, sans qualité quelconque, impassibles, qui se meuvent, dispersées çà et là en vuide infiny, et quand

Mais la conception d'atomes pleins, dispersés dans le vide sans limites de l'univers, ne rendait pas encore un compte suffisamment précis de la constitution des corps. Vint Épicure, dont la doctrine fut si magnifiquement chantée par le grand poëte Lucrèce. Il fit faire un grand pas à la théorie atomique de Leucippe et de Démocrite, en vivifiant les atomes, en les supposant doués de mouvement spontané. De la mobilité des atomes résultaient leurs agrégations diverses et les dissemblances des corps. Les atomes devaient, selon Épicure, s'emmêler, s'intriquer, s'accrocher littéralement. Un philosophe, qui eut le talent de prêcher et de propager en France la théorie atomique, sans paraître offenser l'orthodoxie de son époque encore fort soupçonneuse, Gassendi, remit en honneur la doctrine atomique des anciens. Il admet, selon l'expression d'Épicure, que « ce qui est se meut en ce qui n'est pas », c'est-à-dire que les atomes ne sont point en contact, mais qu'ils sont séparés par des espaces vides.

Ainsi donc, d'après cette théorie, le monde serait composé d'une innombrable quantité d'atomes mobiles, infiniment petits, distants les uns des autres. Ces atomes seraient dans un perpétuel état de mouvement, se cherchant ou se repoussant mutuellement, car ils auraient leurs sympathies et leurs antipathies. C'est de la diversité de leurs affinités que résulteraient leurs modes si divers de groupement et la variété du monde extérieur. C'est par leurs vibrations, leurs oscillations qu'ils se décèlent à

elles s'approchent les unes des autres, ou qu'elles s'assemblent et conjoignent, que de tels assemblements l'un apparoist eau, l'autre feu, l'autre arbre, l'autre homme, et que tout est atomes, qu'il appelle aussi *idées*, et qu'il n'est rien autre, parce qu'il ne se peult faire génération de ce qui n'est pas, comme aussi ce qui est ne peult devenir rien, parce que les atomes sont si fermes, qu'ils ne peuvent ne se changer et altérer, ny souffrir. » (Plutarque, Œuvres mêlées, *Contre Colottes*. Trad. Amyot, édit. Clavier, t. XX. Paris, 1803.)

l'homme, en impressionnant ses organes des sens. Ils auraient pour qualités essentielles l'inaltérabilité, l'éternité. Quand ils s'agrégent, des corps nouveaux se forment; quand ils se désagrégent, des corps préalablement existants se dissolvent et semblent s'évanouir; ce sont des moellons qui ont passé, passent et passeront toujours d'un édifice à un autre. Leur ensemble constitue le fond commun de l'univers, et, en réalité, ce fond commun ne subit d'autres changements que des modifications dans la distribution de ses éléments constituants. Tous les phénomènes, tous les aspects variés, toutes les révolutions de l'univers se ramènent essentiellement à de simples déplacements atomiques.

Cette grande théorie, si admirablement simple et séduisante, ne serait qu'une brillante spéculation, si des faits nombreux et rigoureusement observés ne lui servaient aujourd'hui de base et de démonstration.

Nous énumérons rapidement les plus importants de ces faits, qui sont, pour la plupart, du domaine de la physique et de la chimie.

Wenzel, Richter, Proust prouvèrent d'abord que, dans les compositions et décompositions chimiques, les corps se combinent suivant des proportions rigoureusement définies. Dalton formula la loi des proportions multiples et en déduisit naturellement que la matière est constituée par des atomes étendus ayant un poids constant, et que ces atomes sont de diverses espèces.

Quand des atomes de même espèce se juxtaposent, on a ce que nous appelons des corps *simples*, comme l'hydrogène, l'oxygène, l'azote. Au contraire, les corps dits *composés* résultent de la juxtaposition d'atomes de nature diverse, d'où les acides, les sels, les oxydes, et aussi tous les composés instables et complexes qui constituent les substances organiques.

Ce n'est pas tout : à la loi de Dalton vient s'ajouter celle d'Avogadro et d'Ampère ; cette dernière loi établit que tous les gaz, à égalité de température et de pression, ont la même force élastique. Mais, comme cette force est due vraisemblablement au choc des atomes ou des groupes d'atomes, des molécules, sur les parois des vases qui emprisonnent les gaz, il faut admettre que, dans les conditions précitées, tous ces gaz contiennent, sous un même volume, un même nombre de molécules ou d'atomes.

Enfin, Dulong et Petit ont pu établir, expérimentalement, que les atomes des corps simples possèdent tous la même chaleur spécifique.

Toutes ces grandes lois, lentement dégagées de l'observation et de l'expérience, ont transformé en une théorie scientifique solide la brillante, mais vague intuition des penseurs de la Grèce antique. Avec un point d'appui aussi ferme, la chimie a pu particulariser davantage, étudier en quelque sorte le caractère individuel des atomes ; en langage scientifique, elle est arrivée à la notion d'*atomicité*.

Les atomes ont pour caractères communs d'être étendus, impénétrables, indestructibles et éternellement actifs. Mais ce fond commun n'exclut pas nombre de différences spécifiques. La chimie future nous apprendra, sans nul doute, ce qu'il peut y avoir de fondé dans les hypothèses de Dumas, de Lokyer, suivant lesquels les corps simples de la chimie actuelle seraient seulement des corps indécomposés. Dans cette donnée, nos métaux et nos métalloïdes seraient de simples modifications d'une substance unique, vraisemblablement de l'hydrogène, dont les atomes formeraient des groupements moléculaires différents. Dans l'état actuel de la science, ces idées, purement hypothétiques encore, sont négligeables, et, appuyés, quant à présent, sur les grandes lois de Dalton,

d'Ampère, de Dulong et Petit, nous avons le droit de considérer les corps simples de la chimie contemporaine comme représentant des groupes d'atomes identiques entre eux dans chaque corps simple, mais spécifiquement divers, d'un corps simple à un autre. Or chacune de ces espèces atomiques a son énergie propre, ses affinités à elle. Dans le groupe des autres espèces atomiques elle a des amis, des indifférents et des ennemis. Elle s'unit volontiers aux uns, néglige les seconds, refuse au contraire de se combiner avec les derniers. En outre, cette faculté d'attirer et d'être attiré atteint dans chaque espèce atomique un différent degré d'énergie. D'où l'on peut induire qu'il y a entre les diverses espèces atomiques des différences de masse et de forme. En s'agrégeant ainsi, selon leurs affinités, les atomes se disposent en petits systèmes ayant dans chaque corps une structure spéciale. Ces systèmes atomiques sont appelés *molécules*.

Les atomes des métaux alcalins, comme le potassium et le sodium, ne peuvent fixer chacun plus d'un atome de chlore ou de brome; ils sont *monoatomiques*, comme l'hydrogène. Le calcium, le baryum, le strontium, etc., ont besoin, pour que leur puissance attractive soit saturée, de fixer deux atomes de chlore; ils sont *diatomiques*, comme l'oxygène; tandis que le phosphore, qui parvient à fixer, dans le perchlorure de phosphore, cinq atomes de chlore, est *pentatomique*.

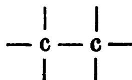
Ce sont ces inégalités dans le mode et la puissance de combinaison, dans la capacité de saturation, que l'on appelle l'*atomicité* de chaque espèce atomique, en désignant spécialement par cette expression la capacité de saturation maximum. Ce qui n'implique d'ailleurs aucunement qu'une espèce pentatomique, comme l'azote, par exemple, ne puisse pas se combiner avec moins de cinq atomes. Ainsi l'azote, qui fixe cinq atomes dans le chlor-

hydrate d'ammoniaque (AzH^4Cl), n'est plus que *triatomique* dans le gaz ammoniac (AzH^3), et il est seulement *diatomique* dans le bioxyde d'azote. Pour plus de clarté, on réserve la dénomination *atomicité* pour désigner la capacité de saturation absolue. Les capacités de saturations inférieures sont appelées *quantivalences*. Ainsi l'azote est pentatomique, mais il est trivalent dans le gaz ammoniac, etc.

Cette notion de l'atomicité a jeté un grand jour sur la texture intime des corps et aussi sur le va-et-vient des atomes dans les diverses combinaisons. En effet, libre ou combiné, tout atome tend à se saturer par l'annexion d'autres atomes. Si, par exemple, un atome tétratomique s'est combiné à deux atomes seulement, il ne cessera de tendre à saturer sa force attractive, il voudra fixer deux atomes encore. Mais, une fois ces deux atomes trouvés, tout autre corps simple ne pourra plus se combiner avec notre atome tétratomique, à moins de déplacer un ou plusieurs de ses atomes, de se substituer à eux. Si, par exemple, on enlève à un carbure d'hydrogène saturé un atome d'hydrogène, la molécule ainsi mutilée pourra s'unir à un atome de chlore. Mais le chlore est monoatomique, néanmoins il a pu fixer la molécule complexe du carbure appauvri d'un atome d'hydrogène. C'est que certains groupes atomiques, certaines molécules, peuvent jouer dans les combinaisons le rôle d'un seul atome. Ils sont ce qu'on appelle des *radicaux composés*. Cette notion des radicaux composés a une importance majeure dans la chimie des substances *organiques*, ainsi appelées parce qu'elles forment en presque totalité l'étoffe des corps vivants. Elle en simplifie extrêmement la complexité apparente. C'est ainsi que, pour Mulder, la formule de l'albumine serait $10(C^{40}H^{31}N^{5}O^{12}) + S^2Ph$. Si l'on se bornait à totaliser des atomes, cette formule donnerait $C^{400}H^{310}N^{50}O^{120} + S^2Ph$, une molécule d'une effrayante complication;

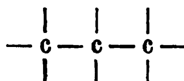
mais, si l'on admet un radical composé, la protéine ($C^{40}H^{31}N^{5}O^{12}$), se comportant comme un atome simple, la structure moléculaire de l'albumine se simplifie énormément; elle se rapproche de celle des composés que nous sommes habitués à rencontrer dans la chimie dite *minérale*. C'est vraisemblablement aussi à cette notion des radicaux composés qu'il faut demander l'explication de ce qu'on a appelé l'*isomérie*. Si des corps ayant même composition élémentaire, comme les acides tartrique et paratartrique, malique et citrique, comme les sucres et les gommes, ont pourtant des propriétés différentes, il faut vraisemblablement l'attribuer à des différences de structure moléculaire, à l'existence, au sein de ces corps isomères, de radicaux composés dissemblables.

Il est une autre notion non moins importante que celle des radicaux composés pour la facile intelligence des formules de la chimie dite *organique*, c'est la notion de l'autosaturation. En effet, l'atomicité d'un corps simple ne s'exerce pas toujours sur des atomes d'espèce différente ; elle peut se manifester entre atomes de même espèce. Les atomes du carbone, par exemple, peuvent se saturer eux-mêmes. Un atome de carbone, qui est tétratomique, — C —, peut s'unir, en dépensant seulement le quart de son atomicité, avec un autre atome de carbone, qui, lui aussi, neutralisera dans cette combinaison un quart de son énergie attractive; il en résultera donc une molécule hexavalente, c'est-à-dire capable d'enchaîner encore six atomes :

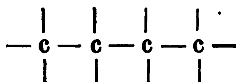


Qu'un troisième atome de carbone s'unisse ensuite à

cette molécule, on aura alors une molécule octovalente :



Enfin l'adjonction d'un quatrième atome de carbone donnera un composé décavalent :



Cette notion de l'autosaturation a permis de systématiser quantité de faits de la chimie organique, de créer rationnellement des composés nouveaux, de classer et de sérier des groupes. On lui doit la théorie des alcools, celle des hydrocarbures (1).

Les quelques pages précédentes renferment les principales notions de chimie générale, sur lesquelles nous devrons ultérieurement nous appuyer. Il nous faut pourtant, avant de clore ce chapitre, dire quelques mots de ce qu'on a appelé les *catalyses*. Certains corps mis en contact avec d'autres corps déterminent par leur seule présence, et sans prendre aucune autre part aux réactions, soit des combinaisons, soit des métamorphoses, soit des dédoublements. Il semble que, dans ces cas, le corps, intervenant par sa seule présence, mette en jeu une force attractive suffisante pour troubler l'atomicité du corps sur lequel il influe, sans néanmoins arriver à se combiner avec lui. Ainsi le platine détermine, par sa seule présence, la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, la

(1) Consulter, pour plus de détails, Wurtz, *Philosophie chimique*, *Chimie nouvelle*, etc. Naquet, article ATOMIQUE (*Théorie*) de l'*Encyclopédie générale*.

formation de l'eau ; il transforme aussi l'alcool en acide acétique, en déterminant son oxydation.

Ce sont là des catalyses de combinaison.

Les substances albuminoïdes introduites dans l'estomac s'y imprègnent de suc gastrique, se gonflent, et par suite la substance organique du suc gastrique amène au sein de ces substances alimentaires une modification isomérique, qui les rend liquides, absorbables, en un mot, les transforme en albuminose. De même, sous l'influence de l'acide sulfurique affaibli, le sucre de canne, la cellulose, les gommes et les fécules se métamorphosent d'abord en dextrine, puis en glycose, ou sucre de raisin.

Ce sont là des catalyses isomériques.

L'acide hippurique des urines d'herbivore se dédouble, sous l'influence des mucus altérés par l'air, en acide hippurique et sucre de gélatine ou glycocolle.

C'est là une catalyse dédoublante.

En résumé, l'univers doit être envisagé comme un tout composé d'atomes dissemblables et diversement groupés suivant leurs affinités. Ces atomes actifs sont le fond, la substance, la raison d'être de toutes choses : ce sont des géants travestis, suivant l'expression de Tyndall.

Les divers aspects des corps résultent des divers modes d'agrégation des atomes constituants.

« Tous les changements qui s'opèrent à la surface du globe sont dus à des combinaisons qui se font ou à des combinaisons qui se défont. » (Dumas, *Traité de chimie*, t. VIII.)

Tous les phénomènes chimiques sont donc l'expression des combinaisons atomiques et se peuvent ramener à quatre types généraux :

1° Simple changement de structure moléculaire ou isomérie;

2° Dédoublement des molécules composées;

3° Adjonction, addition d'atomes ou de molécules résultant d'atomicités non encore saturées, ou, inversement, soustraction d'atomes;

4° Substitution de certains atomes, de certaines molécules à d'autres dans un corps composé.

Ce fond commun exclut évidemment toute différence intime, radicale, entre les corps vivants organisés et les corps inorganiques. Y a-t-il lieu pourtant de distinguer un monde inorganique et un monde organique? Quels sont les caractères dissemblables de ces deux grands groupes? C'est ce que nous examinerons dans les chapitres suivants.

CHAPITRE II

SUBSTANCES ANORGANIQUES ET SUBSTANCES ORGANIQUES

Si, comme il résulte de l'exposé précédent, l'univers est un tout éternellement muable dans la forme, éternellement immuable dans le fond, il va de soi que les corps vivants ou organisés ne sauraient être constitués par une étoffe spéciale. Partie intégrante du milieu matériel qui les enserre, ils n'en sortent que pour y rentrer, et il n'est pas un atome de leur substance qui ne participe de l'éternité de la matière universelle, base de tout ce qui est. Pas un de ces atomes qui n'ait joué déjà un nombre infini de rôles dans une infinité de combinaisons organiques et anorganiques et qui ne soit destiné à en jouer encore un nombre infini d'autres. Aussi, en analysant élémentairement le corps du plus complexe des animaux, de l'homme, on y trouve seulement, dans les conditions normales, quatorze corps simples de la chimie minérale, dont voici la liste :

Oxygène,	Phosphore,	Calcium,
Hydrogène,	Fluor,	Magnésium,
Azote,	Chlore,	Silicium,
Carbone,	Sodium,	Fer.
Soufre,	Potassium,	

Encore faut-il ajouter que la masse du corps humain est surtout constituée par quatre de ces corps simples, savoir : l'azote, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène.

A en croire donc l'analyse chimique élémentaire par décomposition, les êtres organisés ne différeraient pas au fond des êtres inorganisés ; mais l'analogie du fond n'ex-

clut pas de très-importantes différences dans la forme; car nous savons que les propriétés des corps sont étroitement liées à leur composition, au mode d'agrégation des substances qui les constituent.

Notons déjà, en passant, que, des quatre corps simples occupant la première place dans la composition du corps de l'homme et des animaux, il en est deux qui ont des affinités de combinaison faibles et peu nombreuses, un certain degré d'inertie chimique. Le carbone, qui est complétement inerte aux températures ordinaires, ne s'unit qu'à un petit nombre de substances, et souvent par un lien assez lâche; pourtant il concourt, pour la plus large part, à la constitution des végétaux, et occupe aussi une place très-importante dans la constitution des animaux. L'azote, plus indifférent encore que le carbone, se trouve en grande quantité dans le règne végétal, en quantité bien plus grande encore dans le règne animal. C'est cette inertie même, partagée, quoique à un moindre degré par un troisième élément, par l'hydrogène, qui rend ces corps propres à figurer dans la constitution chimique des êtres vivants (1). Au sein de ces êtres, en effet, la matière est à l'état de mobilité extrême; elle y est soumise à un perpétuel mouvement de combinaison et de décombinaison; sans repos ni trêve, ses éléments vont et viennent, s'échangent, s'agrégent et se désagrégent; c'est un vrai tourbillon d'atomes, au sein duquel des composés fixes, à éléments chimiques solidement soudés ensemble, ne peuvent figurer que d'une façon secondaire. Il faut ici des composés instables, d'une grande mobilité moléculaire, capables de se former, de se désagréger, de se métamorphoser, de renouveler molécule à molécule la trame des tissus vivants.

(1) Voir H. Spencer, *the Principles of biology*, t. I.

Déjà les composés ternaires non azotés, les agrégats d'hydrogène, d'oxygène et de carbone, c'est-à-dire les huiles fixes, les graisses, les gommes, les amidons, les résines, les sucres, etc., principes constituants des végétaux et des animaux, ont en partage une grande inertie et une notable instabilité; souvent ils sont susceptibles d'isomérie (sucres, dextrine, etc.).

Quant aux composés plus complexes encore, à ceux où le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le soufre, le phosphore s'associent pour former les substances dites *albuminoïdes*, chez eux l'instabilité moléculaire est portée au maximum; les dédoublements, les modifications isomériques s'effectuent avec une extrême facilité. Nous aurons plus tard à signaler, à propos de la nutrition et de la digestion, les importantes modifications isomériques qui transforment les aliments albuminoïdes insolubles en substances solubles. Notons aussi, en passant, les métamorphoses plus curieuses et plus typiques encore, que les virus et les miasmes provoquent au sein des substances albuminoïdes des corps vivants. Il faut remarquer, en outre, que ces dernières substances, une fois modifiées isomériquement, possèdent la meurtrière propriété de transmettre par simple contact aux substances organiques saines l'altération moléculaire qu'elles ont subie.

Mais, en définitive, ces actions de contact ne sont pas particulières aux substances organiques. Elles ont, ainsi que les phénomènes isomériques, leurs analogues dans la chimie dite *anorganique*. C'est qu'en effet il n'y a nulle différence radicale, nulle frontière déterminée entre la chimie organique et la chimie inorganique. L'une et l'autre étudient les mêmes corps élémentaires, soumis aux mêmes lois. Les substances organiques proviennent des substances anorganiques et y retournent incessamment pour en sortir de nouveau. Il y a seulement, d'ordi-

naire, dans les substances organiques une complexité et une instabilité plus grandes. Aussi voyons-nous, peu à peu, la chimie moderne disputer et ravir aux corps vivants le monopole de la fabrication des substances dites *organiques*.

D'autre part, si l'on range en série graduée les composés minéraux et organiques, on trouve entre les deux classes des groupes transitoires formant trait d'union : ce sont les carbures d'hydrogène, les alcools, les éthers, des acides ternaires, des corps gras, dont le chimiste sait maintenant opérer la synthèse. Il n'y a non plus rien de fatal dans la composition des produits organiques. On peut arriver à substituer la magnésie à la chaux dans la coquille des œufs. On peut, dans la graisse, remplacer l'hydrogène par le chlore, sans modifier essentiellement les propriétés du composé. La synthèse chimique s'est aussi essayée à reproduire les plus simples des substances azotées organiques. Ainsi l'urée, la taurine, la glycocolle, ont pu être reproduites directement dans le laboratoire, et si les vrais corps albuminoïdes ont jusqu'ici défié les efforts de la chimie synthétique, on peut presque assurément prédire qu'ils ne la défieront pas toujours. Alors la fibrine, l'albumine, la caséine, etc., c'est-à-dire les aliments par excellence de l'homme, pourront être directement empruntés au monde minéral. Cette grande découverte inaugurera, pour les sociétés civilisées, une ère nouvelle. Elle affranchira vraiment l'homme, en diminuant, dans une prodigieuse mesure, la somme du labeur musculaire, auquel il doit s'astreindre pour durer et progresser.

Ces préliminaires posés, nous pouvons énumérer les divers groupes de substances simples ou composées qui, par leur union, constituent les corps des êtres organisés. M. Ch. Robin a donné de ces substances ou *principes*

immédiats une excellente classification (1). Pour lui, les principes immédiats sont les derniers corps solides, liquides ou gazeux, auxquels on puisse ramener la substance organisée liquide ou solide, les humeurs et les éléments. Mais, pour que ces matériaux ultimes méritent le nom de *principes immédiats*, M. Robin veut qu'ils soient obtenus sans décomposition chimique, par simples coagulations et cristallisations successives.

Ces corps, qui, par leur mélange intime, leur dissolution réciproque, constituent la substance organisée semi-solide, peuvent se grouper en trois classes :

1° La première classe comprend les corps cristallisables ou volatils sans décomposition, ayant une origine minérale et sortant de l'organisme comme ils y étaient entrés (eau, certains sels, etc.);

2° Les principes immédiats de la deuxième classe sont aussi cristallisables ou volatils sans décomposition, mais ils se forment dans l'organisme même, pour en sortir directement à titre de corps excrémentitiels. Ce sont des acides, par exemple, les acides tartrique, lactique, urique, citrique, etc.; des alcaloïdes végétaux et animaux : la créatine, la créatinine, l'urée, la caféine, etc.; des corps gras ou résineux : des sucres de foie, de raisin, de lait, de canne, etc.;

3° Dans la troisième classe de principes immédiats nous trouvons des corps non cristallisables, coagulables. Ils se forment dans l'organisme même, puis s'y décomposent en donnant naissance aux principes immédiats de la seconde classe. Ce sont là les substances organiques proprement dites, et ces substances constituent la plus importante partie du corps des êtres organisés (globuline, musculine, fibrine, albumine, caséine, cellulose, ami-

(1) Ch. Robin, *Leçons sur les humeurs*. Paris, 1867.

don, dextrine, gomme, et quelques matières colorantes, comme l'hématine, la biliverdine).

C'est de l'union intime et molécule à molécule de substances appartenant à ces trois groupes que résulte la substance organisée, formée d'éléments multiples, mais constituée en majeure partie par des corps complexes, inertes et instables, se décomposant facilement soit par le jeu des affinités chimiques, soit par l'action des ondulations calorifiques, lumineuses, électriques.

Jusqu'ici nous nous sommes occupé des matériaux des corps organisés seulement au point de vue de leur composition chimique, mais il importe tout autant de tenir compte de leur état et de leurs propriétés physiques.

Un chimiste anglais, justement célèbre, Graham, a eu l'heureuse idée de grouper tous les corps, d'après leur état physique caractéristique, en deux grandes classes, celle des *cristalloïdes* et celle des *colloïdes* (1).

Les cristalloïdes comprennent tous les corps qui forment ordinairement des solutions sapides et sans viscosité. Ces corps ont de plus la propriété de traverser par diffusion les cloisons poreuses.

Les colloïdes ont une consistance plus ou moins gélatineuse (gomme, amidon, tannin, gélatine, albumine). Ils se diffusent peu et lentement, comme l'indique le tableau suivant, qui donne le temps d'égale diffusion pour quelques corps pris dans les deux classes :

Acide chlorhydrique	1
Chlorure de sodium	2,33
Sucre de canne	7
Sulfate de magnésie	7
Albumine	49
Caramel	98

(1) *Phil. Transactions*, 1861, p. 183; Moigno, *Physique moléculaire*.

Comme on le voit, l'acide chlorhydrique traverse les membranes poreuses quarante-neuf fois plus vite que l'albumine et quatre-vingt-dix-huit fois plus vite que le caramel. C'est sans doute à cette faible diffusibilité, que les colloïdes doivent d'être dépourvus de saveur, quand ils sont purs. D'ailleurs ces colloïdes ne comprennent pas seulement les substances organiques complèxes dites *albuminoïdes;* certains corps franchement minéraux, comme la silice, le peroxyde de fer hydraté, peuvent prendre l'état colloïde. L'un et l'autre, d'ailleurs, entrent dans la composition des corps organisés. Une forme soluble particulière du peroxyde de fer hydraté, qui normalement est un élément du sang, donne, quand on la dissout dans l'eau dans la proportion de 1 pour 100, un liquide rouge se prenant en coagulum, en sorte de caillot rutilant, sous l'influence de traces d'acides, d'alcalis, de carbonates alcalins et de sels neutres.

Certains colloïdes, comme la gélatine, la gomme arabique, sont solubles dans l'eau; d'autres, comme la gomme adragant, y sont insolubles. Dans tous les cas, ils ont pour caractère général de pouvoir absorber une grande quantité d'eau, en augmentant énormément de volume, puis de perdre cette eau très-rapidement par évaporation. Il semble que, dans ce cas, ils soient seulement soumis à une sorte d'imbibition capillaire. Mais il faut admettre pourtant qu'ils s'incorporent plus intimement une certaine quantité d'eau à titre de partie intégrante. Il y aurait donc, pour les colloïdes, une *eau de gélatinisation,* comme il y a, pour les cristaux, une eau de cristallisation.

Il n'y a pas, du reste, incompatibilité absolue entre les colloïdes et les cristalloïdes. Si les colloïdes sont, pour la plupart, des compositions organiques complexes, nous avons vu plus haut que des composés minéraux très-sim-

ples peuvent revêtir l'état colloïde, et d'autre part Reichert découvrait, dès 1849, que les substances albuminoïdes pouvaient prendre la forme cristalloïde. Nous aurons à citer des exemples de ce dernier cas en parlant des végétaux. Dans presque toutes les graines, en effet, on rencontre une poudre blanche à grains fins, offrant parfois des facettes cristallisées, à vives arêtes. Le diamètre de ces grains est de 0m,00125 à 0m,0375. On les a appelés *grains d'aleurone*. Ils sont composés de fibrine, d'albumine, de légumine, de gliadine, de gomme, de sucre, etc. : ce sont des aliments de réserve.

Ces cristalloïdes albuminoïdes sont biréfringents; tous sont insolubles dans l'eau et l'alcool, qui ne les attaquent pas (1).

Nous avons signalé plus haut la forte diffusibilité des cristalloïdes; elle est telle, qu'ils peuvent pénétrer les colloïdes, se mêler à eux aussi intimement qu'avec l'eau, tandis qu'au contraire les colloïdes peuvent à peine se diffuser entièrement entre eux.

De cette énorme différence de diffusibilité entre colloïdes et cristalloïdes il résulte que, si l'on sépare par une membrane poreuse de l'eau et un colloïde tenant en dissolution un cristalloïde, ce dernier se démêlera du colloïde, et traversera la membrane, pour se dissoudre dans l'eau. C'est ainsi que l'on peut très-facilement, avec un dialyseur à membrane, trier d'une substance colloïde de l'acide arsénieux, de la digitaline, etc. On se sert de ce procédé dans certaines recherches toxicologiques, et aussi industriellement, pour épurer des gommes, de l'albumine, du caramel, etc.

Le lecteur a sans doute déjà pressenti la portée des quelques données précédentes pour l'intelligence des faits bio-

(1) Duchartre, *Botanique*, p. 69; Sachs, *Traité de botanique*, p. 72.

logiques. En effet, tout être organisé est un composé de corps colloïdes tenant en dissolution des corps cristalloïdes. Mais cet être organisé est en voie de perpétuelle rénovation. Sans cesse il joue vis-à-vis du milieu extérieur, soit directement, soit à l'aide d'appareils spéciaux, le rôle d'un dialyseur ; il emprunte des substances nutritives solubles et rejette des substances usées, solubles aussi, au moins dans les liquides de l'organisme.

Quand, par exemple, le résidu de l'usure organique des tissus vivants se compose de corps cristalloïdes, ces corps peuvent traverser facilement et rapidement les trames colloïdes des tissus pour être expulsés de l'organisme ; mais leur expulsion laisse dans ces mêmes tissus un vide, que peuvent venir remplir par perméabilité d'autres substances solubles, et de cette façon les pertes subies par la machine vivante se réparent sans peine.

Enfin l'état colloïde est la forme la plus propre à la manifestation de l'instabilité, de la mobilité moléculaire des corps complexes, qui constituent les êtres organisés. Sous cette forme, ils sont vraiment à l'état dynamique ; ils obéissent sans peine au choc, à l'action des forces incidentes. Ils peuvent se défaire et se refaire, devenir le siége d'un troc perpétuel de molécules et d'atomes, en un mot, du va-et-vient vital.

CHAPITRE III

COMPOSITION CHIMIQUE DES ANIMAUX ET DES VÉGÉTAUX

Dans les deux règnes vivants, la substance organisée est, comme nous l'avons vu précédemment, constituée par trois groupes de corps intimement mélangés et que Chevreul a, le premier, appelés *principes immédiats*. Il s'agit maintenant de comparer entre elles les espèces chimiques, qui entrent dans la composition de la plante et dans celle de l'animal. Nous passerons rapidement sur les principes immédiats de la première catégorie. En effet, l'eau, qui constitue en poids la plus grande partie des êtres organisés, les sels minéraux, les gaz atmosphériques, ne sauraient évidemment nous fournir des caractères distinctifs suffisants. Mais, pour que les résultats de la comparaison soient plus probants, nous indiquerons d'abord, à grands traits, quelle est la composition chimique des végétaux, quelle est celle des animaux.

I. *Composition chimique des végétaux.*

Les tissus organisés végétaux donnent, alors qu'on les soumet à la dessiccation, un résidu friable, dont le poids est très-variable. Dans la moyenne des végétaux terrestres, ce résidu est d'un cinquième à un tiers du poids total, mais il s'élève aux huit neuvièmes si l'on prend des graines mûres, et peut descendre à un dixième et à un vingtième chez les plantes aquatiques et certains champignons. Ce résidu, desséché, fournit toujours à l'analyse chimique du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote et du soufre, du potassium, du calcium, du magné-

sium, du fer; du phosphore; souvent on y trouve en outre du sodium, du lithium, du manganèse, du silicium, du chlore. Enfin, dans les plantes marines, on rencontre de l'iode et du brome.

Tels sont les résultats ultimes de l'analyse; mais il va de soi que, durant la vie, ces corps ne sont pas, pour la plupart, à l'état de liberté; ils sont combinés de diverses manières. Les métaux sont le plus souvent à l'état de sels, de sulfates, de phosphates, de carbonates, d'oxalates, etc. Il y a aussi une certaine quantité d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et d'acide carbonique dissous dans les liquides ou imprégnant les éléments anatomiques végétaux; mais les vrais composés organiques sont des composés ternaires et quaternaires. Les composés ternaires sont formés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Ils constituent la plus forte part de la trame végétale. Citons d'abord la cellulose, qui forme presque seule la partie primaire des cellules végétales, et ensuite plusieurs substances qui lui sont isomériques, comme l'inuline et le xylogène. Le premier de ces isomères de la cellulose, l'inuline, se trouve dans les racines d'aunée, les bulbes de colchique, les tubercules de dalhia, etc. Quant au xylogène, c'est la substance qui donne de la rigidité aux tissus ligneux. Enfin il faut encore rapprocher de la cellulose, en se mettant au même point de vue de la composition chimique, les amidons, les sucres et les gommes. On a longtemps donné au type des sucres, au sucre de raisin ou glycose, la formule $C^{12}H^{12}O^{12},2HO$. L'amidon aurait été composé de $C^{12}H^{9}O^{9},HO$. En réalité, ces corps ternaires ont déjà, dans une forte mesure, les caractères de complexité et d'instabilité propres aux substances organiques, et leur formule définitive est encore un sujet de discorde pour les chimistes. Aujourd'hui, selon M. Wurtz, par exemple, la formule de la cellulose serait $C^{6}H^{10}O^{6}$, celle de la gomme

arabique serait $C^{12}H^{22}O^{11}$, celle de l'amidon $C^6H^{10}O^5$, et cette formule ne varierait pas par la transformation isomérique de l'amidon en dextrine. Les matières sucrées et amylacées auraient pour caractère chimique de renfermer de l'hydrogène et de l'oxygène dans des proportions telles, que l'oxygène pût suffire à saturer exactement l'hydrogène et à le transformer en eau. La formule générale de ce groupe serait donc $C^m(H^2O)^n$ (1).

Pour compléter l'énumération des principaux composés ternaires végétaux, il nous faut mentionner les corps gras végétaux, les huiles non azotées, qui sont aussi des composés à molécule complexe de carbone, d'oxygène et d'hydrogène.

Après le groupe des substances organiques ternaires vient une tribu de composés azotés, dénommés à tort, et en vertu de théories chimiques contestables, corps *quaternaires*. Les molécules de ces derniers corps sont bien formées en majeure partie par des atomes de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote; mais, presque constamment, il faut y joindre une certaine quantité de soufre et de phosphore. Ces composés quaternaires sont les substances organiques par excellence; on chercherait en vain leurs analogues dans le monde minéral. Ils ne se forment spontanément que dans la trame des êtres vivants; tandis que les composés ternaires précités peuvent se rapprocher des carbures d'hydrogène, lesquels les relient au monde inorganique.

Les substances azotées végétales forment deux groupes principaux, le groupe des alcaloïdes et celui des albuminoïdes. Les alcaloïdes sont des composés très-complexes, capables de se combiner comme des bases avec un acide. Ces corps, peu importants par leur quantité, le sont beau-

(1) Wurtz, *Chimie nouvelle*.

coup par leurs propriétés physiologiques ou toxiques : ce sont la quinine, la strychnine, la morphine, etc.

Mais les substances qui, sans conteste, tiennent le premier rang, les composés essentiels à la vie végétale aussi bien qu'à la vie animale, sont ceux qui forment le groupe des albuminoïdes. Nous verrons que ces substances constituent le noyau des cellules végétales et leur membrane interne, qu'elles se retrouvent aussi dans le liquide remplissant les cellules, dans le protoplasma. Parmi les plus importantes de ces substances, il faut citer le gluten ou *fibrine végétale,* si abondant dans les graines des céréales. On lui a donné pour formule, d'après la théorie de Mülder, $10(C^{40}H^{31}O^{12}Az^{5}) + S$.

Il faut rapprocher du gluten la *glutine*, substance albuminoïde analogue ; c'est le principe coagulable du suc des plantes, aussi l'a-t-on appelée *albumine végétale.*

Enfin on extrait des semences de légumineuses une troisième substance albuminoïde, contenant du soufre comme le gluten, et que l'on a appelée *caséine végétale.*

La dernière substance quaternaire qu'il nous reste à mentionner est la matière verte des plantes, la *chlorophylle.* Son rôle physiologique est extrêmement curieux et intéressant; aussi le décrirons-nous en détail dans la suite de cet exposé. Ici nous avons seulement à noter que la chlorophylle ne saurait rentrer dans le groupe des substances précédentes, dites *protéiques.* On n'y trouve ni phosphore ni soufre. Elle est composée seulement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et, ce qui est tout à fait caractéristique, de fer. Sa formule, encore fort sujette à caution, serait $C^{18}H^{9}AzO^{8} + Fe$ (en quantité indéterminée).

II. *Composition chimique des animaux.*

Dans un chapitre précédent, nous avons énuméré les quatorze corps simples entrant dans la composition du

plus complexe des organismes, de l'organisme humain.

Un coup d'œil jeté sur cette liste suffira à montrer qu'au point de vue de la composition élémentaire, et en ne tenant compte que de la qualité des éléments, il y a à peu près identité entre les organismes végétaux et les organismes animaux. Mais, dans les uns comme dans les autres, ces corps élémentaires sont agrégés en combinaisons variées, sauf l'azote et l'oxygène, dont une partie est à l'état de liberté chez les organismes animaux comme chez les végétaux.

Dans tout organisme animal on rencontre aussi, à l'état de mélange intime, des principes immédiats des trois classes.

Les principes immédiats de la première classe ou principes minéraux pénètrent tout formés dans l'économie animale, et en sortent de même; ainsi font l'eau, l'azote, certains sels, etc.

Les principes de la seconde classe sont, en général, des composés ternaires hydrocarbonés, comme l'acide lactique et les lactates, l'acide urique et les urates, des corps gras (oléine, margarine, stéarine), l'amidon animal ou matière glycogène du foie, la glycose de la même glande, la chitine. Ils comprennent aussi des produits quaternaires azotés, résultat de la désassimilation des éléments organiques, comme l'urée ($C^2Az^2H^4O^2$), la créatine ($C^8H^9Az^3O^4$), la créatinine ($C^8H^7Az^3O^7$), la cholestérine ($C^{52}H^{44}O^2$), etc. Tandis que les principes de la première classe passent seulement dans l'organisme en provenant du monde extérieur, ceux de la seconde se forment dans l'organisme animal, mais n'y séjournent pas.

Les principes immédiats de la troisième classe sont peu nombreux chez les animaux comme chez les végétaux, mais ils jouent chez les premiers un rôle plus important encore que chez les derniers. Ce sont les substances albu-

minoïdes, toutes aussi colloïdes et avides d'eau. Ces corps sont des composés très-instables, très-enclins à des modifications isomériques. Ils se forment dans l'économie animale, n'en sortent pas dans l'état de santé, s'y renouvellent molécule à molécule par le mouvement nutritif, et constituent par leur quantité, par le rôle dominant qu'ils y jouent, le fond même de l'organisme vivant. Leur formule, comme nous l'avons déjà noté, est encore indécise. On a voulu les considérer comme formés tous d'un même radical, la protéine, unie à des atomes de soufre et de phosphore.

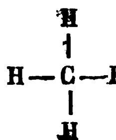
En faisant bouillir les productions épidermiques, les cartilages, la trame organique des os, le tissu cellulaire, les tendons, etc., on obtient des substances quaternaires azotées, la chondrine, la gélatine, renfermant moins de carbone et plus d'azote que les autres substances albuminoïdes; en outre, ne contenant pas de soufre.

Les substances albuminoïdes animales les plus importantes sont la fibrine, l'albumine, la caséine, dont nous avons signalé les analogues chez les végétaux. De même que, chez ces derniers, nous avons rencontré une substance quaternaire spéciale, la chlorophylle, contenant un métal, le fer, nous trouvons aussi chez les animaux supérieurs une matière analogue à l'albumine, mais coagulant beaucoup plus difficilement, quand elle est dissoute dans l'eau. Cette matière est la substance des globules du sang, la globuline. Comme la chlorophylle, elle renferme du fer dans sa composition et, comme elle, elle exerce aussi une action spéciale sur un des gaz de l'atmosphère.

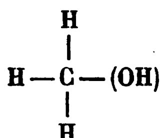
Quelque sommaire que soit la courte énumération qui précède, elle suffira pour établir, en connaissance de cause, un parallèle entre la composition des animaux et celle des végétaux, et pour faire ressortir les analogies et les différences.

III. *Les substances organiques des deux règnes.*

Un fait capital se dégage de l'examen précédent, c'est qu'il est dans les substances ternaires et quaternaires, les seules vraiment organiques, un élément dominant et commun : c'est le carbone. Le carbone est bien la base de toute substance organique. En poids il en forme déjà le principal élément ; ainsi l'albumine du sang contient en poids environ 50 pour 100 de carbone; mais le carbone, dans les substances organiques, joue un rôle actif bien plus primordial encore : il est le lien de tous les atomes divers, composant les molécules complexes des corps organisés. Nous avons déjà vu que le carbone est un corps tétratomique, c'est-à-dire capable de fixer, de maintenir rivés à l'un de ses atomes quatre atomes d'un corps monoatomique, comme l'hydrogène, ou deux atomes d'un corps diatomique, comme l'oxygène, etc. Nous avons en outre remarqué que les atomes de carbone pouvaient s'unir l'un à l'autre, en neutralisant réciproquement une seule de leurs affinités, les autres restant libres et aptes à se satisfaire en attirant et fixant soit des atomes d'autres éléments, soit même des agrégats plus ou moins complexes, des radicaux se comportant comme un atome simple. Mais ces atomes, ces radicaux, ne sont souvent agrégés à l'atome de carbone qui les attire que par une seule de leurs affinités, tandis que les autres restent actives et provoquent l'agrégation d'atomes nouveaux. Prenons pour exemple l'iodure de méthyle, c'est-à-dire de l'hydrogène carboné, dont un atome d'hydrogène a été remplacé par un atome d'iode :



En chauffant dans des conditions convenables ce corps avec de la potasse ou hydrate de potassium, on détermine le déplacement de l'atome d'iode, qui se combine avec le potassium et est remplacé par l'oxygène de la potasse; mais cet oxygène est diatomique : la moitié seulement de son affinité est satisfaite ou neutralisée par ce déplacement, l'autre reste libre encore; c'est pourquoi, sans cesser de faire partie du carbure, l'atome d'oxygène s'unit pour son propre compte avec une molécule d'hydrogène prise aussi à l'hydrate de potassium, et l'on a alors de l'*esprit de bois* :



Nous avons pris pour exemple un corps dans lequel figure seulement un atome de carbone; mais que l'on se représente un composé polycarboné, et l'on verra aussitôt à quel degré de complexité et de mobilité un tel corps pourra atteindre. On aura ainsi une idée générale de ce qu'est la chimie des corps organiques; alors on reconnaîtra que les chimistes modernes ont le droit d'appeler cette branche de leur science la chimie des composés du carbone, et l'on souscrira volontiers à cette proposition de Hæckel : « C'est uniquement dans les propriétés spéciales, chimico-physiques, du carbone, et surtout dans la semi-fluidité et l'instabilité des composés carbonés albuminoïdes, qu'il faut voir les causes mécaniques des phénomènes de mouvements particuliers par lesquels les organismes et les inorganismes se différencient, et que l'on appelle dans un sens plus restreint *la vie* (1). »

(1) E. Hæckel, *Histoire de la création naturelle.* Paris, 1874.

Les données générales qui précèdent s'appliquent également aux substances organiques végétales et aux substances organiques animales, puisque nous avons vu que, sous le rapport de la qualité, de la composition chimique générale, les unes et les autres étaient sensiblement identiques. Par conséquent, nulle différence radicale entre les substances organiques du règne végétal et celles du monde animal. Néanmoins il est des dissemblances notables; elles portent sur la quantité relative des composés ternaires non azotés et des composés quaternaires azotés, dans l'un et l'autre règne. En effet, les substances albuminoïdes, qui constituent la majeure partie de tout véritable organisme animal, sont presque accessoires chez les végétaux, au point de vue quantitatif. La grande masse de tout vrai végétal est constituée surtout par des substances carburées non azotées. L'azote, quoique formant un élément essentiel du protoplasme intracellulaire végétal et des alcaloïdes, représente souvent en poids moins d'un centième des matières sèches; rarement la proportion s'élève à trois centièmes. En résumé, le règne végétal est, sous le rapport quantitatif, le règne des substances carburées ternaires, tandis que le règne animal est celui des substances carburées azotées ou quaternaires. Par suite, il y a dans le monde animal un plus grand degré de complexité et d'instabilité chimiques, c'est-à-dire une activité vitale supérieure.

Nulle différence radicale, du reste. Il faut rejeter dorénavant cette idée d'antagonisme complet entre les deux règnes vivants, qui a eu cours si longtemps dans la science. Il ne faut plus considérer tout végétal comme un appareil de réduction spécialement chargé de former de toutes pièces aux dépens du monde minéral des composés ternaires et quaternaires destinés à la nourriture des animaux. Il ne faut plus davantage voir en tout animal un appareil

de combustion, dont la mission est de détruire ces composés sans en pouvoir former. Les deux ordres de phénomènes s'effectuent dans l'un et l'autre règne. Cl. Bernard a démontré que les cellules du foie fabriquent aux dépens du sang une matière amylacée, ayant, d'après l'analyse de M. Pelouze, la même composition que l'amidon végétal et, comme lui, se transformant en sucre. Enfin M. Rouget a retrouvé cette matière amylacée, glycogène ou zooamyline, dans le tissu musculaire, dans le poumon, dans les cellules du foie, dans le placenta, dans les cellules amniotiques, les cellules épithéliales, les cartilages, etc., des vertébrés (1).

Longtemps on a considéré la cellulose comme une substance exclusivement végétale ; puis on l'a retrouvée, sous le nom de *chitine*, de *tunicine*, dans l'enveloppe tégumentaire des tuniciers, dans le squelette extérieur des arthropodes, etc., et M. Berthelot a pu transformer en sucre cette tunicine, cette cellulose animale, car l'ébullition et les acides la métamorphosent en glycose (2).

Il n'est pas jusqu'à la chlorophylle, cette substance végétale par excellence, qui n'ait été retrouvée avec ses propriétés spéciales chez certains animaux rudimentaires.

Il n'y a donc, répétons-le encore, nulle différence radicale, nul abîme entre les deux règnes vivants, au point de vue de la composition et de la formation des substances organiques. Sous ce rapport, rien ne s'oppose à ce qu'on les réunisse sous la dénomination d'*empire organique*, comme l'avait proposé de Blainville.

(1) J. Gavarret, *Phénomènes physiques de la vie*, p. 196.
(2) J. Gavarret, *loc. cit.*

CHAPITRE IV

DE LA VIE

La vie a été longtemps le mystère des mystères, et, dans les temps modernes, elle a été le dernier refuge, la citadelle du surnaturalisme. Aussi longtemps, en effet, que l'on fut dépourvu de notions précises sur la constitution des corps, sur la composition des agrégats chimiques, aussi longtemps que les substances dites *organiques* parurent radicalement différentes des substances minérales, il était impossible de débrouiller le mystère de la vie. Nous savons aujourd'hui que les corps organisés ne contiennent pas un atome matériel qui ne soit d'abord emprunté, puis rendu au milieu extérieur. Nous avons fait le dénombrement des principes immédiats constituant les corps vivants; nous en avons pu reproduire un certain nombre directement dans nos laboratoires de chimie. Nous savons sous quel état physique, dans quelles conditions de mélange ils se trouvent au sein des corps organisés et vivants. Nous savons, d'autre part, que dans l'univers entier il y a seulement et toujours de la matière active, que ce qu'on appelle *force* ne saurait se scinder de ce qu'on appelle *matière*, que, par conséquent, il ne peut plus être question d'un *principe vital*, d'une *archée*, surajoutés aux êtres vivants et en régentant les phénomènes. Ces seules données générales nous autorisent déjà à affirmer que les phénomènes vitaux sont simplement le résultat des propriétés de la matière vivante. Pour nous faire une idée juste de la vie, il nous reste donc à déterminer quelles sont ses propriétés, quelles sont aussi les conditions principales de leur manifestation.

Nous constatons d'abord que la vie dépend étroitement du milieu extérieur, qu'une altération dans la composition du milieu aérien ou aquatique détermine la cessation ou la suspension du mouvement vital. Nous pouvons même à volonté suspendre et ranimer la vie dans certains êtres organisés.

M. Vilmorin a pu ressusciter, en l'humectant, une fougère desséchée, expédiée d'Amérique. En desséchant et en humectant certains infusoires, on peut enrayer et ranimer chez eux le cours de la vie. Dans l'Amérique et la Russie septentrionale, on transporte à de grandes distances des poissons gelés, que l'on revivifie ensuite en les plongeant dans de l'eau à température ordinaire.

En Islande, en 1828-1829, Gaymard a revivifié en dix minutes, dans de l'eau tiède, des crapauds gelés.

Dans le cas des organismes desséchés, on a par évaporation privé les substances organiques de leur eau de gélatinisation, et par là on leur a ravi la mobilité moléculaire, l'instabilité indispensables à la réalisation des échanges atomiques; en fait, on les a séparées du monde extérieur, sans toutefois les décomposer, d'où leur facile reviviscence.

En congelant des organismes, on obtient un résultat analogue. Les substances perdent par la solidification de l'eau leur état colloïde. Elles sont en quelque sorte chimiquement paralysées, mais peuvent néanmoins revivre, si la congélation n'a produit ni décomposition chimique des substances ni destruction morphologique des tissus et de leurs éléments anatomiques.

Ces faits suffiraient à eux seuls à prouver que la condition principale de la vie est l'échange de matériaux entre le corps vivant et le monde extérieur; mais nous ne sommes pas, heureusement, réduits à des démonstrations aussi grossières. Les actes vitaux ont été minutieusement scrutés, épiés et suivis pas à pas, comme nous le verrons plus

loin. On a pu noter l'incessante entrée dans l'organisme de substances empruntées au monde extérieur, se rendre compte des modifications et transformations que subissent et provoquent ces substances au sein de la matière vivante; on a recueilli le résidu de toutes ces opérations biologiques et établi très-approximativement le bilan de l'apport et des pertes. En résumé, on sait maintenant que le principal phénomène vital, celui qui sert de support à tous les autres, est un double mouvement d'assimilation et de désassimilation, de rénovation et de destruction au sein de la matière vivante, que cette matière soit à l'état semi-solide et sans structure, comme chez certains organismes inférieurs, qu'elle soit à l'état de liquide plus ou moins visqueux, comme le sang et la lymphe des animaux supérieurs; qu'elle soit enfin modelée en éléments anatomiques, en cellules et en fibres baignant dans des liquides et des gaz, comme il arrive dans le corps de tous les organismes supérieurs végétaux et animaux.

La substance vivante est donc un laboratoire chimique constamment en action. Ce sont les propriétés physiques ou chimiques de cette substance diversement modifiée, que l'on trouve derrière toutes les propriétés vitales, derrière la *nutrition*, l'*accroissement*, la *reproduction*, la *propriété chlorophyllienne*, la *motilité*, l'*innervation*.

Or les six propriétés que nous venons à l'instant d'énumérer sont les six modes principaux de l'activité vivante, les six titres sous lesquels se groupent et se classent tous les phénomènes biologiques. La propriété chlorophyllienne est presque exclusivement végétale; mais les cinq autres propriétés fondamentales représentent, quand elles sont réunies, la plus haute, la plus complète expression de la vie. Mais elles sont loin d'être toujours réunies; elles sont loin aussi d'avoir la même importance. Il en est de primordiales; il en est de secondaires.

La plus importante de toutes est évidemment la *nutrition,* le double et perpétuel mouvement de rénovation moléculaire de la substance vivante. Sans nutrition, point d'accroissement, point de reproduction, point de mouvements, point de sensibilité consciente, point de pensée.

A vrai dire, on peut concevoir la vie comme réduite à sa plus simple expression, à la seule nutrition. Un être capable de se nourrir, et privé d'ailleurs de toute autre propriété et fonction, vit encore; mais, s'il n'a la faculté de se reproduire, qui n'est d'ailleurs, comme nous le verrons, qu'une simple extension de la propriété nutritive, sa vie sera tout individuelle; un moment viendra, où les échanges nutritifs se ralentiront, un moment où les résidus nutritifs incomplétement expulsés imprégneront les tissus et liquides vivants, les obstrueront pour ainsi dire; alors les substances colloïdes, plasmatiques, cesseront de se réparer, de se régénérer. Bientôt le ralentissement aboutira à l'arrêt complet; alors l'être organisé aura cessé de vivre; les composés complexes qui le constituaient s'altéreront, se dédoubleront, et les groupes de leurs molécules et de leurs atomes rentreront dans le milieu extérieur, dans le monde minéral.

Si, au contraire, la propriété nutritive d'un être vivant est assez énergique pour s'exalter en quelque sorte jusqu'à l'excès, jusqu'à l'accroissement et la reproduction, l'être est assuré de vivre dans sa descendance; il tient sa place dans l'innombrable foule des êtres vivants, et pourra même, si la doctrine de l'évolution est aussi vraie qu'elle est vraisemblable, devenir la souche d'un type organisé supérieur, monter dans la hiérarchie de la vie.

En fait, beaucoup d'organismes inférieurs sont seulement doués des propriétés de nutrition, d'accroissement et de reproduction. A un degré de complication et de perfec-

tion plus grandes, une nouvelle propriété apparaît, la motilité, subordonnée aussi à la nutrition, s'il s'agit de l'individu, à la reproduction, s'il s'agit de la série. Nul n'ignore que quantité d'animaux sont dotés seulement de ces quatre propriétés de nutrition, d'accroissement, de reproduction et de motilité, et nombre de plantes les possèdent aussi, comme nous le verrons dans la suite.

La nutrition, l'accroissement et la reproduction sont des propriétés vraiment fondamentales. Elles appartiennent au monde organique tout entier, à tout ce qui vit et dure. Au-dessus de ces propriétés il en faut ranger trois autres, toutes trois naturellement subordonnées à la propriété mère, à la nutrition. Ces trois propriétés sont la propriété chlorophyllienne, la motilité et l'innervation.

La propriété chlorophyllienne est, à de rares exceptions près, spéciale aux plantes. La motilité est, dans une certaine mesure, commune aux végétaux et aux animaux. Enfin la dernière propriété vitale, l'innervation, est l'apanage des seuls animaux supérieurs. C'est aussi la plus délicate, la plus subordonnée, la plus étroitement liée à l'intégrité de la nutrition, la plus dépendante, directement ou indirectement, des autres propriétés vitales. Que les liquides nutritifs imprégnés d'oxygène cessent d'arriver aux cellules nerveuses, de les baigner, de les exciter, de les renouveler, aussitôt motilité, sensibilité et pensée s'évanouissent; l'animal redescend pour un temps ou pour toujours au niveau des êtres organisés inconscients.

A ce point de vue physico-chimique, on peut aujourd'hui, sans trop de peine, se faire une idée de l'ensemble des mouvements moléculaires, qui forment la base essentielle de la vie. Tout être vivant est constitué, d'une manière générale, par des substances colloïdes plus ou moins fluides, plus ou moins solides, tenant en dissolution des sels, des gaz, etc. Une partie de ces sels et de ces gaz a

été introduite du dehors et est prête à se combiner avec les substances colloïdes instables ; une autre partie est le résultat de combinaisons déjà effectuées; mais ce mouvement de combinaison et de décombinaison ne saurait s'arrêter; car sans cesse les atomes de l'oxygène atmosphérique se glissent au milieu des molécules organiques, les dissocient, les désagrégent, en vertu de leurs puissantes affinités pour certains des éléments qui figurent dans ces molécules complexes. Au bout d'un temps plus ou moins court, l'oxygène aurait ainsi, par une oxydation lente, détruit la substance vivante, si des aliments ne s'introduisaient aussi du dehors dans la trame de l'être vivant. Ces substances rénovatrices, après avoir souvent subi des remaniements chimiques préparatoires, après être devenues *nutriments,* c'est-à-dire avoir acquis une composition chimique et un état physique qui les rapprochent beaucoup de la substance vivante, s'identifient avec elle. Leurs molécules prennent une à une la place des molécules détruites. L'être vivant, ainsi réparé incessamment, dure, continue à vivre, et il vivrait indéfiniment, si ce mouvement moléculaire ne se ralentissait jamais.

Mais nous savons maintenant, d'après les belles généralisations de la chimie et de la physique modernes, qu'il n'y a dans le monde que des atomes en quelque sorte animés, que ces atomes se transmettent mutuellement le mouvement qui les entraîne ou qu'ils engendrent, et que ce mouvement, sans jamais s'anéantir, se transforme de mille manières. Ces transmutations de mouvement s'opèrent naturellement aussi au sein des êtres vivants, et les impulsions si complexes et si variées des molécules se transmettent aux divers appareils organiques, produisant ici la génération d'éléments anatomiques nouveaux, là les mouvements de totalité de la substance vivante, ailleurs les phénomènes nerveux de conscience, partout une cer-

taine élévation de température et sans doute des phénomènes électriques.

On a dit, et cela est admissible d'une façon générale, que le monde animal vivait aux dépens des réserves de matière et de mouvement accumulées par le monde végétal. Nous aurons plus tard à préciser ce qu'il y a de vrai dans cette généralisation. Contentons-nous de mentionner, pour le moment, que ces réserves végétales se sont formées sous l'influence de la radiation solaire, c'est-à-dire des vibrations rayonnées par l'astre central de notre système planétaire, et que, par conséquent, la source dynamique solaire est le grand réservoir de force, la grande source motrice, qui donne le branle au mouvement vital et entretient l'impulsion donnée.

Et maintenant pourrons-nous définir la vie? Pour cela il nous suffira évidemment de résumer en une formule aussi claire et aussi brève que possible les données précédentes; car notre intention n'est pas de passer en revue les très-nombreuses définitions que l'on a données de la vie, bien longtemps avant d'en avoir scientifiquement analysé les phénomènes.

La définition la plus communément adoptée aujourd'hui en France est celle donnée par de Blainville : « La vie est un double mouvement de composition et de décomposition à la fois général et continu. » Cette définition, comme le fait remarquer judicieusement H. Spencer (1), est en même temps trop et pas assez compréhensive. Elle est trop compréhensive, parce qu'elle s'applique à ce qui se passe dans une pile électrique ou dans la flamme d'une bougie aussi bien qu'aux phénomènes nutritifs primordiaux; elle est trop étroite, parce qu'elle laisse en dehors d'elle les actes vitaux les plus délicats, les plus relevés, les actes cé-

(1) *Principles of biology*, t. I.

rébraux ou psychiques. Lewes dit : « La vie est une série de changements définis et successifs de structure et de composition, qui agissent sur un individu sans détruire son identité. » En mentionnant la structure, cette définition rejette hors d'elle les actes de chimie purement minérale, que n'excluait pas la première, mais elle oublie aussi les actes cérébraux, et en outre elle n'embrasse pas les actes vitaux qui s'effectuent dans les liquides plasmatiques, comme le sang, la lymphe, vivants aussi, quoique dépourvus de structure, comme nous le verrons bientôt.

La définition de H. Spencer : « L'accord continuel des relations intérieures et des relations extérieures », a le tort d'être trop abstraite, de planer tellement au-dessus des faits, qu'elle ne les rappelle presque plus. En outre, en raison même de son caractère de généralité vague, elle peut aussi s'appliquer à certains phénomènes chimiques continus.

Mieux vaut raser de plus près la terre et se borner à donner un court résumé des principaux faits vitaux observés. Oui, la vie repose sur un double mouvement de décomposition et de rénovation simultané et continu; mais ce mouvement se produit au sein de substances ayant un état physique et le plus souvent un état morphologique tout particuliers. Enfin ce mouvement met en jeu des fonctions diverses en rapport avec cet état morphologique des tissus vivants, habituellement composés de cellules et de fibres douées de propriétés spéciales.

Disons donc que « la vie est un double mouvement de composition et de décomposition continuelles et simultanées au sein de substances plasmatiques ou d'éléments anatomiques figurés, qui, sous l'influence de ce mouvement intime, fonctionnent conformément à leur structure. »

CHAPITRE V

CONSTITUTION ANATOMIQUE DES CORPS ORGANISÉS

Partout et toujours, comme nous l'avons précédemment exposé, les corps vivants ou organisés sont constitués par des substances complexes en partie albuminoïdes et dans cet état physique spécial qu'on appelle *colloïde*. La matière fondamentale de ces corps vivants est incristallisable ; « vivre et cristalliser, dit Ch. Robin, sont deux propriétés qui ne sont jamais réunies. » (*Éléments anatomiques*, p. 17.) Il suffit, en effet, qu'un corps soit doué de la plus humble des propriétés vitales, de la nutrition, pour n'être pas cristallisable. En outre, les substances vivantes sont imprégnées de solutions cristalloïdes et de gaz. C'est là un fond commun ; mais, dans la forme, ce fond se diversifie extrêmement. Aux plus humbles degrés du monde organique, on trouve des êtres sans structure, amorphes, par exemple, ceux des genres *amibe* et *monas ;* ce sont de petites masses albuminoïdes contractiles, dont la forme se modifie incessamment. Tels sont encore les rhizopodes les plus simples, masses vivantes un peu plus considérables, mais sans forme définie, que l'on voit émettre et réabsorber dans leur gangue amorphe des prolongements tentaculiformes de diverse longueur. Mais, pour peu que l'on étudie au microscope la structure d'êtres plus élevés dans la hiérarchie vivante, on voit aussitôt que la masse fondamentale a perdu son homogénéité, qu'elle s'est fractionnée en corpuscules généralement invisibles à l'œil nu. Ces petits corps, ces briques vivantes, qui par leur agrégation constituent chaque édifice organique un peu complexe, ont été appelés *éléments anatomiques* ou *éléments histologiques*.

Enfin ces éléments anatomiques baignent plus ou moins directement dans des liquides vivants aussi, que l'on appelle *blastèmes*. Ainsi le polype d'eau douce, célèbre par les curieuses expériences de régénération auxquelles il a donné lieu, est composé uniquement de corpuscules vivants, sphériques, de cellules, baignant dans un liquide intercellulaire, qui est un blastème. C'est encore là la texture de certains infusoires, par exemple des paramécies, et aussi de quantité de végétaux.

Chez les végétaux et surtout chez les animaux supérieurs, il existe en outre des systèmes de canaux, affectés à la circulation de liquides tout aussi vivants que les éléments anatomiques figurés. Ces liquides, qui, comme les blastèmes, dont on a voulu à tort les distinguer, sont à la fois des réceptacles de produits désassimilés et des réservoirs de produits assimilables, ont été appelés *liquides plasmatiques* ou *plasmas*.

Nous avons à décrire successivement la substance vivante sous les deux formes générales qu'elle revêt, savoir : la forme *histologique* et la forme *blastématique* et *plasmatique*.

I. *Des éléments figurés en général.*

La science des éléments figurés des corps vivants, dont l'origine réelle remonte seulement à la fin du siècle dernier, a longtemps porté le nom d'*anatomie générale*. Ce fut seulement en 1819 que Mayer publia un traité d'anatomie générale sous le titre de *Traité sur l'histologie et une nouvelle division du corps de l'homme*. Le mot *histologie* a fait fortune, sans doute parce qu'il est tiré du grec, et il est aujourd'hui d'un usage général.

La première forme élémentaire, histologique, que revêt la matière organisée, est la forme cellulaire. Il faut entendre par *cellule* un corpuscule microscopique, ayant

une sorte d'indépendance, une vie propre, assimilant et désassimilant pour son compte. La cellule a généralement une forme plus ou moins sphérique. Elle est constituée par une substance plus ou moins molle. Quand elle est complète, elle renferme un autre élément cellulaire plus petit, un *noyau*, où l'activité vivante de la cellule atteint ordinairement son maximum de puissance. En outre, il arrive souvent, surtout chez les végétaux, que la surface extérieure du corpuscule cellulaire se durcit ; cette surface durcie constitue alors ce qu'on appelle la *membrane cellulaire*.

Les observations et les inductions de la paléontologie, de l'embryologie, de l'histoire naturelle systématique des êtres organisés autorisent à considérer la cellule organique comme la pierre angulaire du monde vivant, la mère commune de tous les autres éléments histologiques. En effet, les premiers êtres vivants figurés ont été monocellulaires ou composés de cellules semblables entre elles et juxtaposées simplement. A l'origine de la presque totalité des êtres vivants, animaux ou végétaux, on trouve une cellule simple. Enfin, alors qu'on classe hiérarchiquement les innombrables êtres organisés qui peuplent notre globe, on rencontre, au degré le plus inférieur, le plus humble, des êtres composés d'une seule cellule, ou d'un petit nombre de cellules identiques et juxtaposées.

La théorie cellulaire, que nous venons d'esquisser sommairement, est certainement une des plus grandes vues de la biologie. Bichat avait le premier tenté l'analyse anatomique des êtres vivants, en essayant de résoudre chaque être organisé en tissus anatomiquement et physiologiquement spéciaux. Schwann, poussant plus avant l'analyse, décomposa les tissus eux-mêmes en éléments microscopiques et formula le premier la théorie cellulaire dans son ouvrage intitulé : *Recherches microscopiques sur*

la conformité de structure et d'accroissement des animaux et des plantes, 1838 (1).

La théorie cellulaire, contestée aujourd'hui ou plutôt différemment interprétée sur certains points par M. Ch. Robin et son école, n'en reste pas moins debout dans son ensemble. Sans elle, on comprendrait difficilement la genèse et l'évolution des êtres organisés. Enfin cette théorie a conduit la physiologie proprement dite à scruter plus au fond le mécanisme des actes vitaux ; elle lui a enseigné à les rapporter à leurs agents ultimes, c'est-à-dire aux éléments histologiques eux-mêmes, divers par la fonction et la forme chez les êtres complexes, et qu'il faut considérer comme jouant dans la trame des êtres organisés un rôle analogue à celui des atomes dans les agrégats chimiques. Comme l'a dit Schwann, « puisque les cellules sont les formes élémentaires primaires de tous les organismes, la force fondamentale des organismes se réduit à la force fondamentale des cellules. » (*Mikroskopische Untersuchungen*, 1838.)

La cellule proprement dite, dont nous avons donné plus haut une description succincte, est une sorte de type schématique, n'existant guère que chez des êtres et dans des tissus rudimentaires. Si l'on étudie la cellule soit chez un organisme complexe, soit dans la série hiérarchique des organismes, on la voit en effet se modifier, revêtir différentes formes, en assumant des fonctions diverses. Enfin un autre type d'élément histologique apparaît : c'est la fibre, élément microscopique aussi, dérivant évidemment de la cellule dans certains cas, où les cellules n'ont fait que s'allonger, en se juxtaposant et se soudant

(1) *Mikroskopische Untersuchungen über die Ubereinstimmung in der Structure und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen.* — De Mirbel avait déjà montré que le tissu des plantes est composé d'utricules et de cellules (1831-1832).

bout à bout. Ces fibres de seconde main existent manifestement chez les végétaux, où elles se creusent souvent en canaux. Suivant Ch. Robin, il en serait tout autrement chez les animaux. Ici les fibres apparaîtraient de toutes pièces dès les premiers temps de la vie embryonnaire, en se formant spontanément, par genèse, aux dépens des liquides blastématiques sécrétés d'ailleurs par des cellules. Comme il y a diverses espèces de cellules, il y a aussi diverses espèces de fibres ; mais les vraies fibres typiques, bien spécialisées, ne se trouvent guère que dans le règne animal. Nous aurons plus tard à parler plus longuement de certaines espèces de fibres, des fibres musculaires, des fibres nerveuses, etc.

En résumé, en négligeant les quelques types organisés amorphes, sorte de traits d'union entre le monde vivant et le monde non organisé, on doit considérer tout organisme complexe comme étant constitué par un grand nombre d'individus vivants, microscopiques, ayant chacun leur activité et leur fonction. Ces éléments anatomiques sont conformés d'après un petit nombre de types, et, chez les êtres organisés supérieurs, ils sont groupés par tribus et forment ainsi *des tissus*, chargés chacun de remplir telle ou telle grande fonction physiologique, qui est le total de toutes les activités élémentaires (tissu musculaire, nerveux, osseux, tissu chlorophyllien des végétaux).

Il va de soi que le degré de différenciation des tissus est très-variable. C'est une loi organique, que cette différenciation des éléments anatomiques soit poussée d'autant plus loin, que l'individu organisé est plus parfait. En d'autres termes, la grande loi de la division du travail règne partout dans le monde organisé. En outre, les éléments eux-mêmes ont une structure d'autant plus compliquée que leur fonction est plus complexe (fibre musculaire, nerveuse). Enfin, plus l'organisation d'un animal, prise

dans son ensemble, est simple, plus simple aussi est la structure de chacun des ordres d'éléments anatomiques. Ainsi les fibres musculaires des rayonnés, annelés, mollusques, les tubes nerveux, les cellules ganglionnaires des lamproies sont plus simples que les mêmes éléments chez l'écrevisse (1).

Mais, dans tout organisme supérieur, il y a un mélange différencié d'éléments anatomiques, ayant diverses fonctions et divers degrés de structure. On pourrait alors, dans chaque individu, grouper les éléments en série, d'après leur degré de perfection, de complication, et on aurait une échelle complète, allant des éléments confus et même amorphes des êtres inférieurs aux éléments à structure complexe des êtres supérieurs (2).

Au bas de l'échelle organique, nous trouvons des infusoires monocellulaires (polytoma, difflugia, enchelys, monas, amibe) formés d'une seule substance homogène. Certains sont constitués par une substance lentement contractile, qui semble le rudiment indivis encore de la fibre musculaire; c'est une sorte de matière musculaire non figurée. Cette matière est dite *sarcode*.

Il semble que chez les êtres inférieurs il y ait une confusion des matériaux et des fonctions organiques. Nombre d'infusoires sont doués de motilité et de sensibilité, d'une sorte d'instinct, et pourtant ils sont dépourvus d'éléments musculaires et d'éléments nerveux.

On peut placer au degré immédiatement supérieur les végétaux et les animaux simplement polycellulaires, c'est-à-dire constitués par un certain nombre de cellules semblables entre elles et groupées. Ce sont des êtres formés d'un seul tissu.

(1) Ch. Robin, *Éléments anatomiques*.

(2) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès et la marche de la physiologie générale en France*. Paris, 1867.

D'autre part, au début de leur existence embryologique, les êtres les plus complexes, les animaux supérieurs, sans en excepter l'homme, commencent par être monocellulaires, puis passent par l'état polycellulaire le plus rudimentaire, et enfin, dans une période dernière, leurs éléments histologiques se différencient.

Cette graduelle différenciation histologique, qui s'observe dans le développement embryologique des êtres supérieurs, on la peut aussi constater dans la succession paléontologique des êtres organisés sur notre globe. Enfin il est facile de la retrouver, en groupant les êtres vivants hiérarchiquement, des plus simples aux plus complexes. C'est dans cette triple coïncidence que la grande doctrine de l'évolution, fondée par Lamarck et Darwin, trouve sa plus éclatante confirmation.

Dans le règne animal, les éléments figurés peuvent se classer en deux grands groupes : le groupe des éléments constituants, qui forme le fond, la charpente de tout être organisé, et celui des éléments produits, ayant un rôle plus ou moins secondaire et une existence plus ou moins provisoire. On a noté que les éléments constituants étaient généralement situés dans la profondeur du corps, et les éléments produits à la superficie. Mais cette division, à laquelle M. Ch. Robin d'abord et M. H. Spencer ensuite ont accordé une importance capitale, n'est, comme la plupart des classifications, qu'un procédé commode pour grouper les éléments. En s'y conformant à la lettre, il faudrait, comme le fait d'ailleurs M. Ch. Robin, classer parmi les éléments constituants les globules suspendus dans le sang, les *hématies,* qui sont manifestement des éléments produits et de brève durée.

Au point de vue de la constitution physique intime, du mode d'agencement moléculaire, il faut considérer chaque élément vivant comme étant formé par un mé-

lange, molécule à molécule, de principes immédiats, appartenant aux trois classes précédemment indiquées. Tous ces principes immédiats sont dissous dans l'un d'entre eux, dans l'eau, qui est en poids de beaucoup le corps le plus important. Il faut en effet aux éléments vivants un certain minimum d'eau de constitution, sans lequel ils ne peuvent plus se nourrir et par suite fonctionner.

Dans les éléments végétaux, comme le fait remarquer Sachs (1), on peut prouver ce mélange intime des principes immédiats, en extrayant de ces éléments, à l'aide de certains dissolvants, des substances chimiquement déterminées, sans pour cela changer la forme du squelette histologique.

Il existe entre les éléments anatomiques végétaux et les éléments animaux une importante différence dans le degré de la stabilité chimique. Les éléments animaux sont de beaucoup les plus facilement altérables par les agents physiques et chimiques. Chez les végétaux, il y a un certain degré de fixité minérale manifestement en rapport avec leur moindre degré de perfection et d'activité vitales. MM. Nægeli et Schwendener, en étudiant soigneusement le jeu de la lumière polarisée dans les membranes cellulaires végétales, les grains d'amidon, et aussi dans les corps cristalloïdes végétaux, ont trouvé que dans ces tissus et éléments végétaux il devait y avoir des molécules cristallisées biréfringentes et à deux axes optiques. Ces faits sont parfaitement d'accord avec la différence de composition chimique des tissus dans les deux règnes organisés. Nous verrons, en effet, que l'élément chimique le plus caractéristique des substances organisées, l'azote, entre en proportion relativement faible dans la composition des végétaux. Or la présence de l'azote coïncide toujours,

(1) J. Sachs, *Traité de botanique*, p. 768. Paris, 1874.

chez les êtres vivants, avec un degré de vitalité plus élevé, une mobilité moléculaire plus grande.

L'action de certains agents chimiques et physiques sur les éléments anatomiques est en rapport manifeste avec leur constitution. En effet, mis en contact avec des solutions de bichlorure de mercure, de perchlorure de fer, de chromate de potasse, d'alcool et d'autres substances avides d'eau, les éléments anatomiques se déforment, se resserrent ; car ils perdent alors leur eau de constitution (1). C'est pour cette raison que l'alcool arrête définitivement les mouvements des éléments animaux les plus résistants, des cellules vibratiles, dont nous parlerons bientôt, et qu'il tue de même les vibrions et les spermatozoaires.

La chaleur, au contraire, accélère d'abord les phénomènes vitaux ; sous son influence les cellules mobiles se meuvent avec plus de rapidité, les fonctions des végétaux s'accomplissent avec une plus grande énergie ; car une certaine élévation de température facilite les réactions chimiques, et rend l'osmose plus rapide. De même, la diffusion s'accroît avec la température. Pour l'acide chlorhydrique on a, en effet, la gradation suivante :

Diffusion	à......................	15°,5c	= 1
—	à......................	27°	= 1,3545
—	à......................	38°	= 1,7732
—	à......................	49°	= 2,1812

Mais, si la température continue à s'élever, l'excitation fonctionnelle arrive promptement à un point maximum, au delà duquel elle décroît d'abord et s'abolit bientôt. C'est que la chaleur diminue par évaporation l'eau de constitution des éléments, et altère la composition des substances albuminoïdes, quand elle ne les coagule pas ; aussi l'arrêt est-il sans remède. Soumis à une tempéra-

(1) Ch. Robin, *Éléments anatomiques*, p. 20.

ture trop élevée, l'élément anatomique meurt bientôt ; tandis que parfois le froid, qui ralentit et arrête aussi les phénomènes nutritifs, ne les abolit pas pour toujours, ne fait souvent que les suspendre. C'est que les activités et propriétés vitales dérivent directement et uniquement des phénomènes physico-chimiques, qui s'effectuent au sein des éléments anatomiques; aussi les voit-on s'exalter ou languir, s'évanouir, reparaître ou s'éteindre sans retour, au gré des mouvements, des mutations moléculaires, dont elles sont l'expression.

II. *Histologie des végétaux.*

Les fonctions vitales sont moins nombreuses, moins spécialisées chez le végétal que chez l'animal, en exceptant, bien entendu, les organismes les plus inférieurs dans les deux règnes. On est donc en droit de supposer, *à priori*, une spécialisation moins accusée dans la forme des éléments. C'est en effet ce qui a lieu. Tandis que chez l'animal supérieur on trouve des types histologiques variés, se distinguant très-nettement les uns des autres; chez le végétal, au contraire, les formes élémentaires sont moins tranchées, moins dissemblables, et parfois elles peuvent se suppléer physiologiquement.

C'est de l'anatomie microscopique des végétaux qu'est sortie la théorie cellulaire, si contestée aujourd'hui en France, mais généralement admise en Allemagne, et suivant laquelle tout élément anatomique, végétal ou animal, aurait pour origine directe une cellule simple. C'est qu'en effet, dans le monde végétal, c'est le type utriculaire, cellulaire, qui prédomine de beaucoup. Tout végétal, du plus simple au plus complexe, est formé par une agrégation de cellules ou de fibres dérivant manifestement de cellules.

Tout élément anatomique végétal *complet* est une cellule formée d'une double paroi, d'un contenu et d'un ou plusieurs noyaux.

L'enveloppe cellulaire externe est constituée, chimiquement, par une substance ternaire unie à quelques sels; c'est la *cellulose*, composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. La formule chimique de la cellulose est analogue à celle des sucres. Ce serait $C^{12}H^{10}O^{10}$. Quand l'élément histologique est complet, cette membrane externe est, intérieurement, doublée d'une autre vésicule très-mince; mais celle-ci contient de l'azote; elle est albuminoïde. Cette membrane azotée englobe une substance semi-liquide et un ou deux petits corps sphériques ou ovoïdes, azotés aussi. Ce sont les noyaux, dans lesquels sont souvent inclus un ou deux nucléoles. Ces portions azotées de la cellule paraissent être le siége d'un mouvement nutritif plus intense que les autres. Elles se relient aussi à la période de développement; car, dès que la cellule a perdu son contenu fluide ou protoplasma, elle devient incapable de croître et de se multiplier.

Le contenu des cellules végétales est normalement liquide ou solide. Liquide, il peut être formé d'huile ou d'eau contenant en suspension soit des granulations moléculaires azotées, soit des grains de fécule, soit des gouttes d'huile ou de résine, soit enfin de petits corps verts, très-intéressants, appelés *corps chlorophylliens*. C'est à ces derniers corpuscules que les parties vertes des plantes doivent leur couleur.

Le contenu liquide, non huileux, est généralement appelé *protoplasme* par les botanistes. Suivant certains d'entre eux, ce protoplasme serait la partie vraiment importante de la cellule; il sécréterait les membranes enveloppantes, et les noyaux en proviendraient par différenciation.

Quoi qu'il en soit, ce protoplasme est sûrement albuminoïde, car il précipite par les agents chimiques qui pré-

cipitent l'albumine, et l'iode lui communique la coloration jaune qu'il donne aux substances organiques azotées.

La vésicule interne, le protoplasme et les noyaux forment donc un tout albuminoïde, que Dutrochet est parvenu le premier à isoler, en détruisant la membrane externe par l'acide nitrique ou des alcalis caustiques étendus.

Pour constituer les divers tissus végétaux, les cellules revêtent des formes variées. Par exemple, les vaisseaux végétaux, par lesquels circulent, surtout dans les plantes, les liquides et les gaz, sont formés au début de cellules juxtaposées bout à bout. Après avoir pris cet arrangement linéaire, les cellules se soudent, et leurs parois se résorbent dans les points où il y a contact. Une fois la communication établie, le contenu des cellules disparaît à son tour, et le canal est formé. Si le faisceau vasculaire est parfait, toute trace de soudure cellulaire a complétement disparu; mais, dans les cas où la fusion des éléments a été moins complète, le vaisseau reste noueux, modelé en chapelet; il est dit alors *utriculeux*. D'autres fois, au lieu de se juxtaposer en séries linéaires, les cellules formatrices se disposent en réseau vasculaire.

Suivant M. Ch. Robin (1), on pourrait, dans les tissus végétaux, distinguer tout aussi sûrement que dans les tissus animaux un petit nombre de types histologiques. Ces types spécifiques auraient tous pour origine une cellule; mais, dès leur apparition, ils auraient une physionomie distincte, et jamais on ne les verrait se transformer les uns dans les autres.

Le premier de ces types serait celui des *cellules* proprement dites, offrant d'ailleurs un certain nombre de variétés, suivant qu'elles sont sphériques, ovoïdes, fibroïdes, étoilées, cylindroïdes. Il faudrait ranger dans cette classe

(1) Ch. Robin, *Éléments anatomiques*.

les cellules de l'épiderme des plantes, celles du liége, du cambium, de la moelle. On y ajouterait naturellement les plantes monocellulaires, comme les utricules rouges, qui colorent parfois en rouge la neige des Alpes (*protococcus nivalis* de Saussure), comme les diatomées.

Le second type serait celui des *cellules filamenteuses*, toutes plus ou moins parfaitement cylindriques, et huit ou dix fois plus longues que larges. On peut citer comme exemple de cellules filamenteuses les cellules formant le mycélium des cryptogames et aussi certains infusoires monocellulaires, comme les bactéries et les vibrions, en admettant que la botanique puisse revendiquer comme étant de son domaine ces organismes indécis.

Toute plante uniquement composée des deux types histologiques précités est une *plante cellulaire*.

Les *cellules fibreuses* représenteraient le troisième type. Ce sont elles qui, juxtaposées linéairement, forment les fibres ligneuses du bois et du liber.

Enfin les *cellules vasculaires* formeraient le quatrième type. Ce sont celles qui, par leur juxtaposition bout à bout et la résorption partielle de leur paroi, constituent des canalicules, des vaisseaux. Au type des cellules vasculaires appartiennent les cellules trachéennes à filament spiral, les cellules ponctuées, les cellules laticifères.

Qu'il faille admettre dans toute son inflexible rigueur cette classification à vives arêtes, nous ne le pensons pas; mais on la peut accepter comme donnant une bonne vue d'ensemble, comme groupant sous un petit nombre de chefs la grande variété des éléments histologiques végétaux.

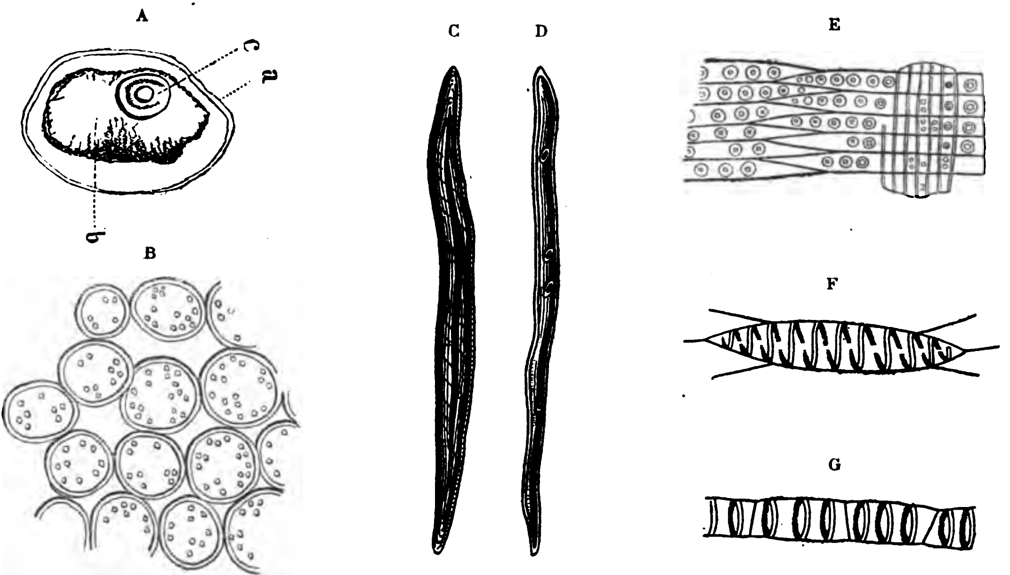


Fig. 1.

A, cellule végétale traitée par l'alcool. Le protoplasme s'est concrété et séparé de la paroi cellulaire. *a*, membrane cellulaire; *b*, protoplasme; *c*, noyau avec nucléole. — B, cellules sphériques des tissus végétaux lâches (parenchyme des fruits, moelle de sureau, etc.). — C, cellule allongée ou fibro-cellule ligneuse du pin. — D, fibro-cellule ligneuse du mélèze. — E, cellules ponctuées des conifères. — F, cellule à fil roulé en spirale. — G, autre cellule à fil roulé.

III. *Histologie des animaux.*

Les éléments anatomiques animaux diffèrent en général des éléments végétaux au triple point de vue de la composition chimique, de la structure et de la forme.

En effet, tandis que chez les végétaux l'élément anatomique est constitué en majeure partie par une substance ternaire non azotée, la cellulose, les éléments animaux, au contraire, sont formés surtout par des substances albuminoïdes quaternaires. Sans doute on rencontre chez les animaux des substances ternaires analogues à l'amidon et à la cellulose des végétaux, mais partiellement, secondairement, en faible quantité. C'est ainsi que l'on trouve dans le tégument des arthropodes et même dans toutes les classes des invertébrés une matière très-analogue à la cellulose végétale, la chitine, qui peut se transformer en glucose; mais ces points de détail ne sauraient infirmer la valeur du grand fait général énoncé ci-dessus.

Les différences générales de structure sont peut-être en rapport avec les différences de composition chimique. Les substances albuminoïdes sont en effet essentiellement colloïdales, et par conséquent doivent tendre à une morphologie plus indécise. Aussi, tandis que, dans la cellule végétale, on trouve généralement une membrane enveloppante bien délimitée, cette membrane fait souvent défaut chez les éléments anatomiques animaux. L'élément est alors un petit glomérule figuré, se rapprochant plus ou moins du type fibre ou du type cellule, et muni ordinairement d'un ou de plusieurs noyaux et nucléoles.

Au point de vue de la forme, la différence entre les éléments histologiques animaux et végétaux est plus accusée encore. Les types histologiques végétaux sont peu nombreux, et tous se rattachent directement et visiblement à

la cellule. Mais les éléments anatomiques animaux ont des formes beaucoup plus variées. Chez ceux d'entre eux qui méritent le nom de *fibres*, il n'y a souvent plus de trace de la forme cellulaire, et les fibres animales ne seraient même pas dérivées d'éléments cellulaires originels, si l'on admet, avec M. Ch. Robin, la genèse spontanée des éléments anatomiques dans les blastèmes.

Cette théorie de l'apparition spontanée des éléments anatomiques dans les liquides vivants est jusqu'à présent repoussée en Allemagne, où l'on adopte dans toute sa rigueur l'axiome de M. Virchow : *Omnis cellula e cellula*.

Aux termes de la théorie cellulaire allemande, tout élément anatomique, quel qu'il soit, aurait pour origine une cellule; il en dériverait par gemmation ou segmentation, et tout élément qui s'écarte de la forme cellulaire serait simplement une cellule métamorphosée. On comprend difficilement que des assertions aussi directement opposées soient soutenues de part et d'autre avec acharnement par des observateurs également habiles. Force est bien d'admettre qu'il y a de chaque côté une part de vérité. Nous verrons, en traitant de la génération, que l'école française entend reléguer la reproduction par division et gemmation dans le règne végétal, dans la période initiale de la vie embryonnaire animale et chez certains éléments *produits*. Suivant cette école, la plupart des éléments dits *constituants*, c'est-à-dire formant vraiment la charpente de l'organisme animal, naîtraient spontanément par synthèse, par genèse, dans les liquides vivants, et cela aussi bien chez l'embryon que chez l'adulte.

Quoi qu'il en soit, la théorie cellulaire est commode pour classer les éléments anatomiques. En effet, tandis que les partisans de la genèse spontanée, n'admettant aucun lien de parenté directe entre la plupart des éléments anatomiques, s'attachent surtout à noter les dis-

semblances et à multiplier les espèces, les partisans de la théorie cellulaire, préoccupés de l'idée d'une commune origine, songent surtout aux ressemblances et arrivent ainsi à former un très-petit nombre de groupes histologiques élémentaires. D'après eux, il y aurait seulement quatre types d'éléments anatomiques et de tissus animaux, savoir : 1° les éléments du tissu cellulaire ou connectif; 2° les cellules restées autonomes, c'est-à-dire les épithéliums et les cellules glandulaires, auxquelles on pourrait réunir les globules du sang; 3° les éléments du tissu musculaire; 4° les éléments du tissu nerveux.

Le premier de ces tissus, le tissu cellulaire, forme la gangue générale, le soutien de tous les autres tissus et éléments. Il est essentiellement composé de cellules, dites *cellules étoilées*, ayant de 0mm,050 à 0mm,060 de diamètre. Ces cellules renferment un noyau contenant un nucléole. Elles émettent des prolongements fibrillaires, concourant à former les fibres du tissu cellulaire, et qui souvent semblent s'anastomoser entre eux. D'autres fibres, dites *fibres lamineuses*, parce qu'elles sont légèrement aplaties, se forment dans ce même tissu cellulaire autour de noyaux allongés, dits *noyaux embryoplastiques*. L'ensemble ressemble à un long fuseau étiré. Les fibres lamineuses émanant de ces cellules forment la majeure partie du tissu cellulaire. Elles sont très-longues, groupées en faisceaux, et larges, en moyenne, de 0mm,001.

On range aussi, suivant cette théorie, dans le tissu cellulaire les cellules cartilagineuses et les cellules osseuses. Toutes ces cellules sont à noyaux. Les premières sont rondes ou ovoïdes, les secondes sont irrégulières et émettent dans toutes les directions des prolongements filiformes, qui s'anastomosent entre eux. Ces dernières cellules, qui forment la trame vivante du squelette osseux, ont été appelées *corpuscules osseux étoilés* (fig. 2).

Les cellules dites *autonomes* comprennent les globules du sang, que nous décrirons plus loin, et les épithéliums. De ces derniers éléments, les uns servent à tapisser, en les protégeant, les membranes animales, la peau et les muqueuses, tandis que les autres jouent dans les sécrétions un rôle extrêmement important et sur lequel nous aurons occasion de revenir.

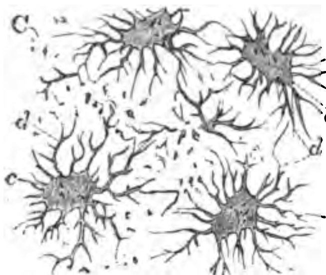


Fig. 2.
Corpuscules osseux étoilés. Environ 600 diamètres.

Les épithéliums se divisent en *épithéliums pavimenteux,* larges cellules aplaties et d'ordinaire polyédriques, parce qu'elles se compriment mutuellement. Elles renferment noyau et nucléole, et leur ensemble rappelle beaucoup un pavé de briques hexagonales. Elles revêtent la muqueuse de beaucoup de conduits chez les animaux et jouent surtout le rôle d'un vernis protecteur. On peut en rapprocher les cellules épidermiques. D'autres cellules épithéliales sont cylindriques, ou plutôt cylindro-coniques. Parfois alors la surface libre de ces cellules est munie de cils fins et mobiles; l'épithélium est dit dans ce cas *épithélium vibratile* (fig. 3).

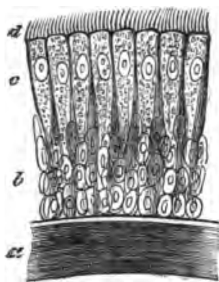


Fig. 3.
Épithélium vibratile recouvrant de jeunes cellules épithéliales (*b*). Environ 500 diamètres.

En outre, il nous faut mentionner l'éphithélium globuleux, sphérique. On le rencontre surtout dans les glandes, où sa fonction est de former, aux dépens des

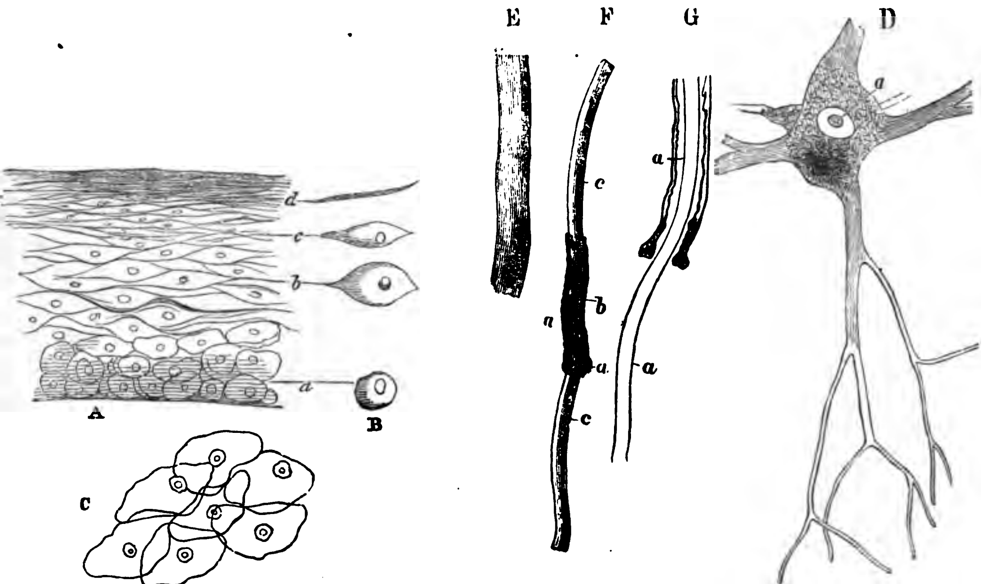


Fig. 4.　　　　Fig. 5.

A, section verticale d'une couche de l'épiderme de sa surface libre à sa surface profonde. — B, vue latérale, à diverses hauteurs, de cellules dont cette couche se compose (*a, b, c, d*). — C, cellules de l'épiderme, semblables à celle qui est vue de profil en *d*. — D, cellule nerveuse ganglionnaire ; *a*, son noyau avec nucléole. — E, fibre nerveuse intacte. — F, G, fibres nerveuses altérées, à contenu coagulé. En G on voit le filament axile, ou cylindre-axe, sortant de la membrane d'enveloppe et de son contenu, coagulé. — Grossissement d'environ 250 diamètres pour A, B, C. d'environ 350 pour les éléments nerveux.

plasmas et blastèmes, des liquides spéciaux destinés à être sécrétés.

Enfin nous signalons ici, pour mémoire, les éléments musculaires, distingués en fibres-cellules et en fibres proprement dites; puis les éléments du tissu nerveux, fibres et cellules. Nous aurons à décrire ailleurs en détail la forme, la structure et les fonctions de ces éléments, que l'on peut qualifier d'*aristocratiques*.

CHAPITRE VI

DES LIQUIDES VIVANTS

Pendant des siècles, les humoristes et les solidistes ont rempli le monde, nous voulons dire le petit monde physiologique et médical, de leurs zizanies, de leurs luttes acharnées. Comme dans toutes les longues guerres, il y eut dans celles-ci bien des péripéties. Tantôt les humeurs triomphantes submergeaient leurs adversaires ; tantôt ceux-ci, faisant front de leurs rangs pressés, semblaient fixer à jamais la victoire. L'observation et l'expérience ont fini par imposer aux belligérants leur arbitrage souverain. Il est démontré aujourd'hui qu'entre les solides et les liquides de tout organisme il y a moins de différence qu'on ne l'avait cru pendant si longtemps. Les solides proviennent des liquides ; ils en proviennent incessamment et y rentrent. Enfin, entre les solides ou éléments anatomiques et les liquides vivants, c'est-à-dire les blastèmes et les plasmas, il y a une grande analogie de composition.

On appelle *blastème* tout liquide vivant, c'est-à-dire doué du mouvement moléculaire nutritif, se trouvant interposé entre des éléments anatomiques. Les *plasmas* sont aussi des liquides vivants, mais circulant dans des canaux, comme le sang et la lymphe des animaux. Blastèmes et plasmas ont entre eux une grande analogie, si on les envisage d'une manière générale. Les uns et les autres sont vivants, les uns et les autres contiennent également des matériaux d'assimilation destinés aux éléments anatomiques et des matériaux de désassimilation

qui en proviennent, des substances cristalloïdes en train de se transformer pour devenir substances albuminoïdes assimilables ou organisables, et des substances albuminoïdes tendant à devenir cristalloïdes et à être expulsées de l'organisme. La vitalité des blastèmes est naturellement plus grande que celle des plasmas; on les peut presque considérer comme des éléments qui ont perdu leurs formes. Physiquement, ce sont des liquides visqueux, généralement semés de granulations. Ce sont par excellence les liquides organisables. C'est dans le sein des liquides blastématiques que naissent les éléments anatomiques des embryons ou des tissus constitués en voie de développement ou de régénération, par exemple à la suite d'une plaie.

I. *Blastèmes végétaux.*

Les végétaux, même les plus parfaits, les dicotylédonés, n'ont pas de système circulatoire spécial. Dans l'arbre dicotylédoné, la séve terrestre monte à travers les tissus du bois, remplissant les espaces intercellulaires, les canaux, et passant par endosmose de cellule en cellule, de fibre en fibre. Parvenue aux feuilles, elle y subit une importante modification, dont nous aurons à nous occuper, puis elle redescend par les tissus plus superficiels, spécialement par les jeunes tissus intermédiaires entre l'écorce et le bois. La séve descendante, celle qui a été élaborée dans les feuilles, doit être considérée comme un liquide vivant, un blastème; aussi, chemin faisant, la voit-on s'organiser soit directement, soit par l'intermédiaire des éléments anatomiques préexistants. A vrai dire, c'est un liquide qui tient le milieu entre les plasmas et les blastèmes.

Le liquide blastématique, d'où naissent les bourgeons,

est tout à fait comparable aux blastèmes animaux. Comme ces derniers, il est en partie exsudé par les éléments anatomiques, c'est-à-dire ici par les cellules végétales, qu'il écarte et dissocie. Ce mode de formation rappelle celui des blastèmes embryonnaires, végétaux et animaux.

Les vrais blastèmes végétaux ressemblent beaucoup au contenu azoté semi-liquide des cellules végétales; à cette substance intracellulaire, douée de mouvements spontanés, ayant ses affinités moléculaires spéciales, refusant par exemple, tant qu'elle est vivante, de se laisser imbiber par des matières colorantes. Or on sait que ce protoplasma intracellulaire offre toutes les réactions chimiques des véritables matières albuminoïdes (albumine, fibrine, caséine). L'iode le colore en jaune; l'alcool, les acides minéraux, la chaleur le coagulent.

Chimiquement, les blastèmes végétaux sont constitués par de l'eau, des substances albuminoïdes et quelques sels.

II. *Blastèmes animaux.*

On a voulu réserver le nom de *blastèmes,* dans l'économie animale, aux seuls liquides interstitiels où se forment des éléments anatomiques nouveaux, c'est-à-dire aux liquides intercellulaires des embryons animaux, avant la formation des vaisseaux, aux liquides organisables qui se produisent dans une plaie en voie de cicatrisation, enfin aux liquides des cavités séreuses. Mais, en biologie, comme dans toutes les autres sciences naturelles, s'il est utile de diviser, de classer, il est sage de ne point accorder aux divisions et aux classifications une valeur absolue. Les frontières que nous sommes obligés de tracer çà et là dans le vaste champ du monde vivant pour étayer la faiblesse de notre mémoire, n'ont qu'une valeur relative. En fait, dans le monde organique, même pris

en général, tout est nuance et transition graduelle. Si cela est vrai, comme il est incontestable, dans les classifications de l'histoire naturelle proprement dite, combien ne le sera-ce pas davantage quand il s'agit de trier les parties constituantes d'un même organisme? Si nous réservons le nom de *blastèmes* au petit nombre de liquides vivants, interstitiels, organisables et générateurs, que ferons-nous des autres liquides interstitiels, de ceux qui baignent les éléments du tissu dit *conjonctif*, de ce tissu à morphologie grossière, qui sert de gangue et de support à tous les autres ? Et dans la plupart des tissus, partout où les éléments ne se touchent pas les uns les autres par tous les points de leur surface, n'y a-t-il donc pas un liquide interstitiel, provenant des tissus d'une part, du milieu extérieur de l'autre? Mais ces tissus grandissent constamment, de la naissance à la période d'état ou âge adulte, c'est-à-dire qu'incessamment, durant ce laps de temps, des éléments nouveaux naissent et se font place au milieu des anciens. Evidemment, ces éléments se forment aux dépens du liquide interstitiel, qui devient par conséquent alors un vrai blastème formateur.

Que l'on sectionne un polype d'eau douce en plusieurs fragments, aussitôt chacun de ces fragments travaille à se compléter, pour refaire un individu complet; mais ce nouvel individu, une fois formé, n'est pas plus volumineux que le fragment d'où il a pris naissance. Il s'est donc modelé et constitué aux dépens du liquide interstitiel baignant le tissu cellulaire de l'hydre; donc ce liquide est formateur, donc c'est un blastème. Mais blastème aussi sera le liquide intercellulaire de la substance grise cérébrale, celui du cordon ombilical, celui de la moelle des os, etc.

La composition chimique des blastèmes animaux est un peu mieux connue que celle des blastèmes végétaux.

Comme ces derniers, ils se composent de substances albuminoïdes, de sels, de substances cristalloïdes régressives; enfin, d'une grande quantité d'eau. Mais, outre ces données générales, on a pu constater que les blastèmes des animaux supérieurs ont une composition différente de celle du sang et de la lymphe, d'où ils proviennent en grande partie. La fibrine et l'albumine y sont en moindre quantité. L'albumine y a pris en grande partie sa forme chimique soluble et assimilable; elle est devenue *albuminose*, ne se coagule plus par la chaleur et se coagule difficilement et imparfaitement par les acides. On n'y trouve plus que des traces de fibrine, et rien n'est plus naturel, puisque, nous le savons, pour devenir assimilable, nutritive, la fibrine a besoin de se transformer isomériquement en albuminose.

On a voulu faire de l'instabilité chimique des blastèmes un caractère distinctif. Sans doute, les blastèmes sont en état de mutation perpétuelle; ils ne sont jamais identiques à deux moments de la durée; mais on en peut dire tout autant du sang, de la lymphe, des éléments histologiques eux-mêmes, puisque le mouvement de rénovation continue est la condition primordiale de la vie.

En résumé, entre les éléments anatomiques, les blastèmes et les plasmas, il y a seulement, au point de vue chimique, différence dans la proportion et la nature des principes immédiats constituants, mais différence graduée des uns aux autres. Ce sont trois formes de la matière vivante, analogues entre elles et s'engendrant mutuellement.

III. *Des plasmas.*

Chez le végétal, l'imparfaite division du travail physiologique, la confusion des fonctions, sont si grandes, qu'on y peut difficilement classer les liquides organiques.

Nous avons signalé les liquides évidemment blastématiques de l'embryon végétal, des bourgeons, le liquide semi-blastématique et semi-plasmatique qu'on appelle la *sève*. Nous dirons plus tard quelques mots à propos de la sécrétion des glandes végétales et de leurs produits sécrétés, et ainsi nous aurons passé en revue tous les liquides organiques végétaux. La chose est moins simple chez les animaux, du moins chez les animaux supérieurs. La division du travail est plus avancée dans les tissus et dans les liquides, et il faut soigneusement classifier les uns et les autres.

Chez l'animal supérieur, les liquides organiques se peuvent diviser d'abord en deux grands groupes correspondant aux deux grandes divisions des éléments solides : ce sont le groupe des *humeurs constituantes* et celui des *humeurs produites*.

La composition chimique de chaque groupe et même des humeurs de chaque groupe est très-variée ; mais, d'une manière générale, on peut dire que toutes contiennent des principes immédiats des trois ordres (1) :

1° Des principes d'origine minérale (eau et sels dissous) ;

2° Des principes d'origine organique, les uns cristallisables, les autres coagulables (urée, créatine, lactates, choléates, etc.) ;

3° Des principes non cristallisables, mais coagulables, se rencontrant dans toutes les humeurs, sauf la bile, l'urine et la sueur. Ces derniers principes immédiats sont les substances albuminoïdes proprement dites et les substances saccharines, ayant les unes et les autres la propriété de dissoudre certains composés minéraux ou minéralisés peu ou point solubles dans l'eau. C'est ainsi

(1) Ch. Robin, *Des humeurs*, p. 20, 21; in-8°.

que l'albumine fixe de la silice, du phosphate de chaux, des urates, etc.

Les humeurs produites ou de sécrétion sont formées, dans l'économie, aux dépens des humeurs constituantes, et généralement par des organes spéciaux appelés *glandes*. Nous aurons plus tard à étudier leur procédé de formation. Elles comprennent les liquides très-aqueux produits à la surface de membranes dites *séreuses*, qui recouvrent certains viscères (cerveau, cœur, poumon, intestin, etc.), les liquides baignant les surfaces articulaires ou liquides synoviaux, enfin le sperme, le lait, les mucus, les salives, la bile, le suc intestinal, etc.

Il faut rapprocher des humeurs produites les liquides simplement excrétés, c'est-à-dire séparés des humeurs constituantes sans modifications chimiques (sueur, urine, liquide amniotique, liquide allantoïdien, exhalation pulmonaire).

Tous ces liquides, sauf trois, sont alcalins. Les trois liquides habituellement acides sont le suc gastrique, la sueur et l'urine; encore ce dernier liquide est tantôt alcalin, tantôt acide, tantôt neutre, chez l'homme, aux divers temps de la digestion. Chez les mammifères herbivores, il est normalement alcalin. Mais, là aussi, l'alcalinité de l'urine dépend de la digestion; en effet, l'urine des herbivores devient acide, si on les nourrit avec des aliments animaux, ou, ce qui revient au même, si, les soumettant à la diète, à l'inanition, on les force à vivre aux dépens de leur propre substance. L'alcalinité des humeurs animales est due ordinairement à des sels de soude bibasiques ou tribasiques; mais on n'y rencontre jamais de soude libre.

A propos de la sécrétion et de l'excrétion, nous parlerons en détail des humeurs produites, dont nous devons nous borner ici à indiquer les principaux caractères distinctifs.

Nous avons maintenant à décrire les humeurs du premier ordre, les humeurs constituantes, vivantes, celles que l'on peut regarder, en quelque sorte, comme des éléments anatomiques liquéfiés. Ces liquides, qui n'existent bien nettement que chez les animaux à structure complexe, munis d'appareils circulatoires bien définis, sont au nombre de deux seulement : le *sang* et la *lymphe;* car il faut considérer le *chyle,* c'est-à-dire le produit ultime de la digestion circulant dans les vaisseaux lymphatiques, comme une dépendance de la lymphe.

Le sang et la lymphe sont renfermés dans des systèmes circulatoires ramifiés et clos de toute part. Ces systèmes circulatoires emprisonnent les liquides qui y sont contenus, sans leur permettre normalement d'en sortir en masse; mais ils laissent, à travers leurs parois, un facile passage à beaucoup de matériaux venant soit des tissus, soit du milieu ambiant, et à beaucoup d'autres, qui s'échappent du sang et de la lymphe, soit pour nourrir les tissus, soit pour être expulsés, comme indignes, des frontières de l'organisme.

Ce double mouvement de va-et-vient, de troc de matériaux, s'effectue simultanément, comme l'assimilation et la désassimilation nutritives dans les éléments solides. C'est qu'en effet le sang et la lymphe sont des liquides vivants en voie de rénovation perpétuelle. Ils se forment sans cesse dans le système des canaux, où ils circulent sans se détruire.

Les parois vasculaires, qui renferment les liquides constituants, ne semblent pas modifier notablement la composition chimique des substances qui les traversent. Leur rôle est surtout un rôle physique, osmotique. Il en résulte que le sang et la lymphe empruntent leurs matériaux constituants tout formés aux milieux ambiants, soit au grand milieu cosmique, à l'air par exemple, soit au mi-

lieu organique, aux tissus, aux myriades d'éléments anatomiques, qui composent le corps des animaux supérieurs.

En leur qualité de liquides organisés, les humeurs constituantes contiennent nécessairement des principes immédiats des trois classes; mais ceux de la troisième classe, les albuminoïdes d'origine organique, non cristallisables, coagulables, y prédominent. Ce sont l'*albumine*, ou mieux la *sérine* (1), et la *plasmine*, qui, hors de l'organisme vivant, se dédouble en fibrine coagulable spontanément et en fibrine dite *liquide*. A ces substances albuminoïdes il faut ajouter des proportions variables de *peptones* ou d'*albuminose*, c'est-à-dire des substances albuminoïdes alimentaires liquéfiées et absorbables.

Le sang et la lymphe ne sont pas des liquides homogènes, physiquement simples. On y rencontre des corps flottants, qui sont de vrais éléments anatomiques libres. Ces corps ont été appelés *globules;* quant aux liquides dans lesquels ces globules nagent en nombre immense, on leur donne spécialement le nom de *plasmas*.

Ces plasmas isolément considérés sont doués de nutrition; ils sont par conséquent vivants. Ils contiennent, en proportions presque égales, des principes immédiats des trois ordres; pourtant les principes coagulables y dominent. Que la nutrition vienne à cesser au sein du plasma, c'est-à-dire que ce liquide meure, aussitôt sa composition s'altère; les principes albuminoïdes qu'il contient se dédoublent en une portion liquide et une autre portion spontanément coagulable. C'est ce qui produit, chez les animaux pourvus d'un système circulatoire, la roideur cadavérique.

Le rôle des plasmas est d'une importance capitale;

(1) Ch. Robin, *Des tissus*, p. 21.

mais, pour s'en rendre compte, il faut bien se figurer ce qu'est tout organisme complexe au point de vue de la texture. Au plus bas degré de la vie et de l'organisation, on trouve des êtres monocellulaires, des éléments anatomiques libres, des infusoires simples, vivant habituellement dans l'eau; car, directement ou indirectement, les éléments anatomiques sont généralement des êtres aquatiques. Là, l'organisme monocellulaire absorbe et assimile, désassimile et sécrète, en empruntant et en rendant directement des matériaux au milieu ambiant. Pour les êtres un peu plus complexes, composés seulement de cellules identiques entre elles et simplement juxtaposées, le procédé nutritif n'est guère plus compliqué. En effet, l'organisme polycellulaire, à cellules semblables entre elles, n'est, en définitive, qu'une collection d'organismes monocellulaires juxtaposés. Seulement, il y a d'ordinaire une membrane enveloppante générale et, par suite, un liquide interstitiel, une sorte de blastème, jouant, vis-à-vis des éléments anatomiques de l'organisme polycellulaire, le rôle d'un milieu artificiel. Déjà les cellules ne plongent plus directement dans le milieu cosmique; elles sont protégées et isolées par un liquide organique, élaboré. Dans les organismes très-complexes, par exemple chez les animaux supérieurs, l'intrication de la texture est bien autrement grande. Ici, les éléments anatomiques ne sont plus coulés dans un moule unique; ils sont différenciés, suivant des types multiples, et chaque type assume une fonction diverse. L'un, comme le type épithélial, fournit aux membranes vivantes un vernis protecteur; aux glandes, un agent spécial de sécrétion; un autre, par exemple le tissu dit *cellulaire*, sert de gangue, de lien, de soutien à tous les tissus, appareils et organes, tout en donnant en outre passage à des liquides blastématiques. Un troisième, comme l'élément osseux, fournit à l'orga-

nisme une charpente solide. Enfin, la fibre et la cellule musculaires impriment aux pièces de l'appareil vivant les mouvements nécessaires, tandis que la fibre et la cellule nerveuses dotent l'organisme de sensibilité, de volonté, de pensée, et sont l'âme sentante de l'être tout entier, dont elles assument la direction consciente, etc., etc. Mais, pour que ces éléments anatomiques si divers, si nombreux, groupés en tissus, en organes, en appareils, en systèmes spéciaux, puissent vivre, fonctionner, s'entr'aider les uns les autres, il faut qu'ils soient presque complétement soustraits aux influences brutales et capricieuses du monde extérieur ; il faut qu'ils puissent fonctionner dans un milieu artificiel, vivant comme eux, où ils trouvent une température peu variable, un magasin toujours bien approvisionné de substances élaborées et assimilables, propres à réparer leurs pertes, enfin un lieu de décharge, où ils rejettent leurs matériaux usés, devenus impropres à figurer dans le mouvement vital. Ces milieux nutritifs, artificiels, liquides, par conséquent appropriés à la vie aquatique des éléments anatomiques, sont les plasmas, toujours en mouvement, toujours renouvelés, cédant et reprenant incessamment des matériaux au monde extérieur et aux tissus, ayant, chez les animaux supérieurs, une température à peu près égale, tant que celle du milieu extérieur ne subit pas d'oscillations trop fortes. Pour les éléments anatomiques, les plasmas sont une véritable atmosphère vivante.

IV. *Du sang.*

Chez les vertébrés, le plus important des plasmas, le sang, est une séve rouge, circulant sans cesse avec une rapidité plus ou moins grande. Chez les invertébrés, le sang est animé d'un mouvement de translation ordinai-

rement beaucoup plus lent. Il est contenu dans des appareils moins bien construits et est généralement incolore et transparent, comme la lymphe. Souvent même le sang et la lymphe des invertébrés sont confondus; quand il y a des cavités sanguines et des cavités lymphatiques distinctes, comme il arrive chez quelques vers annelés, le sang se teint alors d'une couleur spéciale; il est tantôt rouge, tantôt jaune, vert, violet ou bleuâtre. Les cellules sanguines, qu'il charrie parfois dans ce cas, sont presque toujours incolores. Pourtant il y a des globules sanguins colorés chez la *terebella* et les céphalopodes (1).

Le sang des vertébrés, dont nous avons surtout à nous occuper, est, suivant une heureuse comparaison de Cl. Bernard (2), un milieu intérieur dans lequel vivent des éléments anatomiques, comme les poissons vivent dans l'eau. Ces éléments conservent d'ailleurs dans le sang leur indépendance physiologique, et, tout en puisant leurs matériaux nutritifs dans le plasma sanguin, ils ne se laissent pas imbiber par lui, ce qui est une condition essentielle des échanges endosmotiques. Aussi voit-on, par exemple, dans le sang des vertébrés, la potasse dominer dans les globules et la soude dans le plasma.

Les qualités physiques du sang des vertébrés supérieurs sont bien connues. Dans ces organismes perfectionnés, le sang est un liquide légèrement visqueux, d'un rouge pourpre dans les artères, c'est-à-dire quand il est fraîchement imprégné d'oxygène aérien, mais d'une teinte noirâtre plus ou moins foncée dans les veines, c'est-à-dire quand, au contact des tissus, il a échangé son oxygène contre de l'acide carbonique. On sait aussi que la température de

(1) R. Wagner, cité par Fr. Leydig (*Traité d'histologie de l'homme et des animaux*, p. 509. Paris, 1866).

(2) Cl. Bernard, *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, p. 55-58. Paris, 1866. In-8°.

ces deux sangs diffère, celle du sang veineux étant un peu plus élevée dans le ventricule droit du cœur et dans les veines profondes, élévation qu'il faut évidemment attribuer aux réactions chimiques de la nutrition, dont le sang veineux recueille les résidus.

On sait aussi qu'aussitôt tiré des vaisseaux, le sang se sépare en deux parties : un caillot rouge renfermant les globules et une partie liquide d'un jaune-citron, qu'on nomme le *sérum*.

Le sang, avons-nous dit, est un milieu où tous les éléments anatomiques de l'organisme puisent les matériaux nécessaires à leur vie, où ils déversent tous leurs résidus nutritifs; sa composition chimique doit donc être fort complexe. On y trouve, en effet, des principes immédiats des trois classes et on les y trouve en grand nombre. Nous devons nous borner à signaler ici les principaux d'entre eux.

Les principes de la première classe, franchement minéraux, sont d'abord l'eau, qui quantitativement est l'élément le plus important, comme le montre du reste le chiffre de la densité du sang, qui en moyenne est seulement de 1 050. En quantité, l'eau représente chez l'homme les 905 à 910 millièmes du sang. La proportion varie d'ailleurs notablement ; elle est plus considérable chez l'enfant, le jeune homme, la femme enceinte, en résumé, partout où une formation d'éléments anatomiques nouveaux nécessite la fixation de beaucoup de matériaux solides. Dans cette masse liquide sont dissous tous les autres principes immédiats et sont charriés les globules.

Les principes immédiats gazeux de la première classe sont l'oxygène, l'azote, l'hydrogène. Le premier de ces gaz, qui est de beaucoup le plus important, vient de l'air extérieur, auquel il est emprunté par les organes respiratoires, comme nous le verrons en parlant de la respiration. C'est

lui qui, en se combinant aux globules ou hématies, leur donne la teinte vermeille qu'ils ont dans le sang artériel. Mais les globules ne gardent pas longtemps leur oxygène. Brassés dans les fins vaisseaux circulatoires, où ils sont en contact presque immédiat avec les éléments anatomiques, ils leur cèdent alors leur oxygène vivifiant, indispensable aux réactions chimiques de la nutrition. En échange, ils reprennent le résidu gazeux de l'oxydation des tissus, l'acide carbonique, qui leur donne une teinte noirâtre, celle du sang veineux. Il faut noter que les globules sanguins ne se dépouillent jamais complétement d'un de ces gaz pour s'imprégner complétement de l'autre. Ils les retiennent simultanément, contenant seulement plus d'oxygène dans le sang artériel, plus d'acide carbonique dans le sang veineux. Il suffit, d'ailleurs, que les gaz soient en quantité égale dans le sang pour que les globules deviennent noirâtres. Le changement dans la proportion des deux gaz ne s'effectue pas non plus brusquement, mais peu à peu; c'est au fur et à mesure que le sang artériel s'éloigne des poumons et du cœur pour s'approcher des tissus que l'oxygène cède graduellement la place à l'acide carbonique.

L'eau du sang n'y est pas normalement libre; elle s'y trouve combinée avec des matières albuminoïdes. C'est pourquoi elle ne peut filtrer mécaniquement au travers des parois vasculaires. Elle vient en presque totalité des aliments, car il est douteux qu'il s'en forme dans l'organisme en quantité notable.

Les principes immédiats salins de la première classe qui sont contenus dans le sang, sont des chlorures, chlorhydrates, sulfates, carbonates, phosphates, etc. De tous les sels, le chlorure de sodium est de beaucoup le plus abondant dans le sang de l'homme. La proportion des sels varie d'ailleurs suivant les espèces animales.

Les phosphates prédominent dans le sang des carni-

vores, mais cèdent le pas aux carbonates de soude et de potasse chez les herbivores. Ce qui est, après tout, comme nous l'avons déjà fait remarquer à propos de l'urine, une pure affaire d'alimentation. C'est au phosphate de soude basique et au carbonate de soude que le sang doit sa réaction alcaline.

M. Ch. Robin (1) remarque que les différents sels du sang se servent de dissolvants mutuels, et que les phosphates et carbonates de soude permettent au liquide sanguin de dissoudre une grande quantité d'acide carbonique. Dans l'économie, en effet, le sang n'est jamais saturé d'acide carbonique. Du sang veineux mis en contact avec de l'acide carbonique en dissout encore $0^{mg},48$ pour 100. Il est donc toujours avide de ce gaz et prêt à en débarrasser les éléments anatomiques.

Il faut citer pour mémoire des traces de silice, de manganèse, de plomb, de cuivre, éléments minéraux de hasard, peu ou point utiles à la nutrition, mais entraînés avec les autres dans les organismes vivants. Il en est tout autrement du fer, qui semble jouer un rôle important, former une partie vraiment constituante des globules sanguins, quoiqu'il y soit en très-petite quantité, puisqu'on n'évalue pas à plus de 1 gramme la quantité totale de fer contenue dans le sang d'un homme adulte.

D'autres sels, sels de soude, de potasse, de chaux, appartiennent, comme les précédents, aux principes immédiats de la seconde classe. Ce sont des sels organiques, des déchets nutritifs. Citons les urates et inosates de soude, de potasse, etc., qui résultent vraisemblablement de la désassimilation du tissu musculaire, etc.

Mais la désassimilation des éléments anatomiques donne naissance à bien d'autres principes plus complexes, plus

(1) Ch. Robin, *Des humeurs*.

organiques, à des sortes d'alcaloïdes. Ces principes cristallisables, toujours à l'état de liberté dans le sang, sont l'urée, la créatinine, la créatine, l'inosite. On a cherché à déterminer le lieu d'origine de ces divers produits. La créatine et la créatinine viendraient des muscles, l'urée surtout des tissus fibreux, lamineux, séreux (1).

Il faut rapprocher de ces substances la cholestérine et la séroline, formées probablement dans le tissu nerveux.

Tous ces corps passent, par osmose, à travers les fins vaisseaux capillaires et séjournent dans le sang jusqu'à ce qu'ils en soient sécrétés ou excrétés.

Les autres substances azotées du sang appartiennent à la troisième classe des principes immédiats. Ce sont les substances albuminoïdes proprement dites. L'urée, la créatine, la créatinine, etc., sont des principes azotés régressifs, des résidus de la désassimilation ; ils font partie du courant matériel sortant de l'organisme. Au contraire, les autres substances albuminoïdes sont le résidu de l'élaboration alimentaire. Elles sont destinées à réparer l'usure des tissus et font partie du courant matériel entrant dans l'économie.

Quand du sang de mammifère est retiré des vaisseaux et abandonné au repos, il se sépare en un caillot rouge et en un liquide jaunâtre. Le caillot est composé d'une substance azotée complexe, que l'on a appelée *fibrine*, parce qu'elle a alors un aspect fibrillaire, et cette substance coagulée retient dans ses mailles les globules rouges. Le liquide ambiant contient en dissolution une autre substance azotée, dénommée *albumine*, parce qu'elle se rapproche de l'albumine de l'œuf, quoique contenant cependant moitié moins de soufre. Longtemps on a cru à tort que la fibrine et l'albumine existaient dans l'écono-

(1) G. Sée, *Du sang et des anémies*.

mie aussi distinctes qu'elles le sont dans le sang de la saignée. Fibrine et albumine sont d'ailleurs isomères, l'albumine contenant seulement un peu plus d'eau. D'importantes analyses du sang faites par Denis (de Commercy) (1), il résulte qu'en effet le sang contient de l'albumine, que Denis préfère appeler *sérine;* mais, au lieu de fibrine, il n'y aurait dans le sang qu'une substance azotée analogue, appelée par Denis *la plasmine*. Cette plasmine se dédoublerait dans le sang de la saignée, et grâce à l'intervention des globules, en une partie coagulable dite *fibrine*, et en une autre substance albuminoïde soluble, qui resterait en dissolution dans le sérum avec l'albumine ou sérine et en pourrait être séparée. Que toutes ces déterminations de la chimie actuelle soient destinées à être maintenues intactes dans l'avenir, nous ne le croyons pas.

En effet, les substances albuminoïdes sont extrêmement instables; celles de l'économie sont vraisemblablement isomères ou à peu près. Leur formule chimique n'a pas même encore été bien déterminée. Elles ne sont naturellement absorbables qu'à la condition d'être solubles; aussi la fibrine et l'albumine des aliments se transforment-elles par la digestion en substances isomères dites *peptones*, *albuminose*, dont le degré de parenté avec la plasmine et la sérine de Denis n'a pas encore été bien déterminé. En résumé, ce sont là des questions dont il faut réserver la solution précise à la chimie future.

Pour en finir avec les principaux matériaux organiques du sang, citons de fines gouttelettes de matière grasse, flottant dans le sang après la digestion à l'état d'émulsion. Ces corps gras sont absorbés par les tissus, qui les cèdent ensuite au liquide sanguin, à l'état de combinaison sa-

(1) Denis, *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*. Paris, 1856 et 1858.— *Mémoire sur le sang*. Paris, 1859. In-8°.

line, savonneuse et soluble (butyrates, matières grasses phosphorées). Mentionnons enfin une certaine quantité de glucose ou sucre de raisin.

Les substances minérales dissoutes dans le sang n'y sont pas toutes à l'état de simple mélange. Si l'on injecte dans le sang d'abord une solution d'un sel de fer, puis une solution de prussiate de potasse, on n'obtient pas la réaction caractéristique des sels de fer, la formation de bleu de Prusse, parce que les substances albuminoïdes du sang ont tout d'abord fixé le sel de fer. Au contraire, on obtient du bleu de Prusse si l'on injecte d'abord le prussiate de potasse, parce que les substances albuminoïdes laissent ce dernier sel libre (Claude Bernard).

V. *Des globules rouges sanguins.*

Si l'on examine sous le microscope une gouttelette de sang, on y trouve des petits corps flottants extrêmement nombreux, serrés les uns contre les autres, et dont chacun semble être une cellule isolée. Un examen plus attentif montre bientôt que ces corps sont plutôt des glomérules que de vraies cellules, car ils n'ont ni noyaux ni membranes d'enveloppe. Ce sont de petits disques aplatis, déprimés au centre sur leurs deux faces, disposition qui simule souvent un noyau. Leur diamètre est de $0^{mm},006$ à $0^{mm},007$ chez l'homme adulte. Mais leur forme varie dans la série des vertébrés et aussi chez l'homme et les mammifères, si l'on remonte aux premiers temps de la vie embryologique. En effet, à l'époque où l'embryon n'a encore que $0^{m},02$ à $0^{m},03$ de long, quand les globules viennent d'apparaître, ils sont blancs et ont un véritable noyau; suivant quelques auteurs, ils se multiplieraient alors par segmentation. Ils sont, en outre, beaucoup plus gros et leur diamètre atteint $0^{mm},010$ à $0^{mm},011$.

Dans la série animale, on observe aussi de très-notables

différences dans la forme, le volume et la structure des globules sanguins. Tant que l'on ne sort pas de la classe des mammifères, ces différences sont légères; pourtant les globules sanguins du chameau et du lama ont une forme ovalaire, ellipsoïdale, et ressemblent, sous ce rapport, à ceux des oiseaux et des reptiles. Chez l'éléphant et le paresseux à deux orteils, on voit aussi que les globules sanguins sont très-notablement plus gros que chez les autres mammifères.

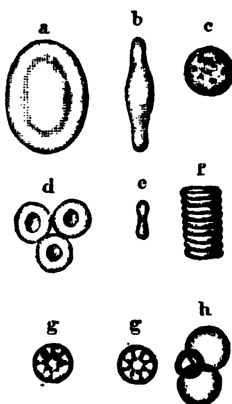


Fig. 6.

Grenouille. *a* et *b*, face et profil d'un globule rouge; *c*, globule blanc. 500 diamètres. — *Homme.* *d* et *e*, face et profil d'un globule sanguin; *f*, pile de globules; *g*, *g*, *g*, globules blancs; *h*, vésicule graisseuse du chyle. 800 diamètres.

Dans les autres classes de vertébrés, les différences s'accentuent déjà. Chez tous les vertébrés, les globules sont, comme chez l'homme, de couleur rouge par réflexion, et c'est à eux que le sang doit sa teinte rutilante. En général, les globules rouges des mammifères sont moins volumineux que ceux des autres classes des vertébrés; ils sont elliptiques et à noyaux dans les classes des oiseaux, des amphibies, des poissons; elliptiques seulement dans la classe des reptiles. Nulle règle absolue pourtant. Le fait de l'existence des globules rouges dans le sang d'un animal est fort important; mais leur forme l'est beaucoup moins. Nous avons vu que certains mammifères ont des globules sanguins elliptiques comme ceux des oiseaux. En revanche, les plus humbles des vertébrés, des poissons d'ordre inferieur, comme les genres *myxine* et *petromyxon*, voisins du célèbre *amphioxus lanceolatus*, ont, comme l'homme, des globules sanguins circulaires et à double dépression. Enfin, comme second anneau de

la chaîne, entre le *branchiostoma* sans globules (1), comme un invertébré, et les poissons à sang globulaire, se place un poisson à globules blancs, incolores, le *leptocephalus*. Mais, en résumé, en dépit de quelques exceptions, les globules rouges ou *hématies* se rencontrent dans le sang de la presque totalité des vertébrés ; ils sont le signe anatomique et physiologique d'une organisation plus complète, d'une respiration plus active, d'une vitalité plus haute.

Dans le sang de l'homme et des mammifères, les globules sanguins sont en nombre immense. Suivant Schumann, Andral et Gavarret, les globules rouges, à l'état humide, formeraient, en volume, la moitié de la masse du sang (2). D'autre part, Vierordt a compté, dans 1 millimètre cube de sang, de 4180000 à 5551000 globules.

La proportion des hématies est d'autant plus forte que l'individu est plus jeune. Le sang de l'homme adulte en renfermerait 302 millièmes, d'après Ch. Robin (3). Il y en aurait beaucoup plus chez les jeunes sujets, et, dans le sang du nouveau-né, la proportion s'élèverait à 600, à 680 et même à 700 millièmes. Un anthropologiste allemand, le docteur Welcker, a démontré qu'au point de vue des formes et des proportions du crâne et de la face, la femme est un être intermédiaire à l'homme adulte et à l'enfant. Or il en est de même sous le rapport de la proportion des hématies, qui s'élève chez la femme à 320 et à 400 millièmes.

Les hématies sont de véritables éléments histologiques flottant dans le plasma sanguin. Comme tout ce qui vit, elles assimilent et désassimilent incessamment. Chacune d'entre elles n'a vraisemblablement qu'une brève durée. Suivant la doctrine cellulaire allemande, elles naîtraient,

(1) Retzius, J. Müller, de Quatrefages.

(2) G. Sée, *Du sang et des anémies*, p. 13.

(3) Ch. Robin, *Des humeurs*.

chez l'embryon, de cellules préexistantes et se multiplieraient ensuite par segmentation, par division cellulaire; mais c'est un point que n'a pas encore élucidé l'observation directe. Il est certain d'ailleurs que les hématies se refont dans le sang, puisqu'il suffit de quelques semaines ou un mois pour guérir l'anémie causée par une saignée trop copieuse ou une hémorrhagie abondante. Chez un animal soumis à l'abstinence, les globules diminuent de nombre, se déforment et se ratatinent. Il est probable qu'incessamment les plus âgées d'entre les hématies se dissolvent dans le sang et sont remplacées par des hématies de nouvelle formation. Ces recrues naissent soit dans les glandes lymphatiques, soit dans des glandes spéciales (corps thyroïde, rate, etc.).

Le caractère physiologique des hématies est la propriété qu'elles possèdent d'absorber l'oxygène avec une grande énergie. Cette propriété est inhérente à leur substance même, indépendamment de leur forme. En effet, une solution de cette substance rougit au contact de l'oxygène et devient moins rutilante au contact de l'acide carbonique. L'affinité de la substance des globules pour l'oxygène est tout à fait comparable à celle de la matière verte des feuilles de la chlorophylle pour le carbone de l'acide carbonique aérien. C'est à cause de cette puissante affinité pour l'oxygène que, dans la transfusion sanguine pratiquée chez l'homme et les mammifères, l'injection des globules seuls suffit à provoquer de véritables résurrections. Le sang extrait des vaisseaux continue encore à se charger d'oxygène et à exhaler de l'acide carbonique. Au contact de l'oxygène, les hématies se gonflent, tendent à perdre leur double dépression. Au contraire, l'acide carbonique les rapetisse.

De même, dans les organismes vertébrés, la fonction des hématies est de s'imbiber de plusieurs volumes d'oxygène

durant leur passage à travers les organes respiratoires. Une fois imprégnés d'oxygène, les globules donnent au sang une teinte rutilante, vermeille. Le sang est dit alors *artériel;* puis les globules sont charriés avec leur provision d'oxygène dans l'appareil circulatoire. Bientôt ils arrivent dans les plus fins vaisseaux de ce système, où ils sont presque en contact avec les éléments anatomiques des tissus. Là s'établit entre les globules et les éléments anatomiques un échange de gaz, qui est un des actes primordiaux de la nutrition.

En effet, la condition vitale par excellence pour tout élément anatomique est de s'oxyder plus ou moins lentement; mais ce travail d'oxydation produit, entre autres composés chimiques, du gaz acide carbonique, qui, s'il n'était éliminé au fur et à mesure de sa formation, entraînerait bientôt la mort de l'élément anatomique. La fonction des globules rouges du sang est précisément de reprendre cet acide carbonique et de céder en échange leur oxygène vivifiant.

Le signe visible de cet échange gazeux est le changement de coloration du globule, qui devient noirâtre alors qu'il a abandonné son oxygène pour se charger d'acide carbonique. Ce sang noir ou veineux contient beaucoup moins d'oxygène que le sang artériel. D'après Magnus, il y aurait dans le sang artériel 38 d'oxygène pour 100 d'acide carbonique, et la proportion ne serait plus que de 22 pour 100 dans le sang veineux. Le sang veineux est du sang appauvri par la nutrition; il renferme moins de globules, moins de fibrine, et au contraire plus de sels, dont un certain nombre sont des résidus nutritifs (1).

Tout élément anatomique transforme de l'oxygène en acide carbonique par le seul jeu de la nutrition; mais il

(1) Longet, *Traité de physiologie*, t. I, p. 581.

en consomme en beaucoup plus grande quantité quand il exerce une fonction spéciale, et alors l'absorption d'oxygène est rigoureusement en rapport avec le degré d'activité de l'élément chimique. Que si, par exemple, on coupe tous les nerfs qui se distribuent à un muscle, toute contraction volontaire lui devenant alors impossible, le sang artériel le traverse, en ne perdant qu'une très-faible partie de son oxygène, et il passe rouge dans les veines (Cl. Bernard). Que l'on vienne ensuite à faire contracter le muscle en excitant l'un de ses nerfs par un courant électrique, aussitôt une certaine consommation d'oxygène répond à la contraction; les globules se chargent au passage d'acide carbonique; ils noircissent; ils deviennent veineux. Des phénomènes analogues s'observent pour la même raison durant le sommeil hibernal, durant la syncope, et il doit en être de même pour le sang traversant le cerveau pendant le sommeil sans rêve.

Claude Bernard a montré qu'on peut à volonté provoquer les changements de coloration du sang dans les glandes par la section et l'excitation de certains nerfs.

Au fond de tous ces cas particuliers d'atonie organique, il y a un phénomène commun : c'est l'inaction ou la moindre action des tissus, des organes; d'où surabondance d'oxygène dans le sang. On voit donc qu'il suffit en quelque sorte de pouvoir doser l'absorption d'oxygène d'un tissu pour mesurer le degré de son activité fonctionnelle.

L'échange de gaz entre les tissus et les globules se fait vraisemblablement par osmose et diffusion. Il faut pourtant noter que l'oxygène est probablement à l'état de combinaison avec la substance du globule, avec l'hématoglobuline. En effet, un acide organique, l'acide pyrogallique, qui est avide d'oxygène et l'absorbe surtout facilement quand il est en dissolution dans des liquides

alcalins, ne réussit pourtant pas à en priver complétement les globules du sang. Ces globules ont d'ailleurs pour l'oxygène une telle affinité que, dans le sang artériel, ils l'absorbent presque en totalité et en dépouillent à peu près complétement le plasma. Comme tous les phénomènes chimiques, la combinaison des globules et de l'oxygène est influencée par la température. A une basse température, elle cesse de s'effectuer : par exemple, dans le corps refroidi d'un mammifère en état de sommeil hibernal. Au contraire, quand la température s'élève, la fixation de l'oxygène devient plus facile, jusqu'à 40 à 45 degrés. Au delà, l'oxydation des globules s'exagère ; il y a combinaison stable, quelque chose d'analogue à ce qui se passe quand les globules sont en contact avec l'oxyde de carbone, leur poison spécial ; le globule perd alors ses précieuses qualités osmotiques ; il est tué (1).

VI. *Des globules blancs du sang.*

Les globules blancs du sang ou *leucocytes* sont des globules pâles, sphériques, doués de mouvements sarcodiques, amiboïdes, ayant $0^{mm},008$ à $0^{mm},014$ de diamètre.

L'eau et l'acide acétique les pâlissent et y font découvrir un à quatre amas granuleux ou noyaux. Chez le

(1) Les matières protéiques du globule diffèrent complétement de la fibrine environnante. Elles ont même leurs composés inorganiques spéciaux. Les phosphates alcalins prédominent dans les globules et sont surtout à base de potasse. Dans le sérum, la soude et la chaux dominent. Le globule contient dix fois plus de phosphates, deux fois moins de chlorure, dix fois plus de potasse et trois fois moins de soude, de chaux et de magnésie que le sérum.

On y voit prédominer les graisses, et surtout les graisses phosphorées et analogues à celles de la substance nerveuse.

Enfin l'on sait que le fer contenu dans le sang est tout entier renfermé dans les globules. En outre, la substance du globule, quoique albuminoïde, est cristallisable. (G. Sée, *Du sang et des anémies*.)

fœtus, la substance du leucocyte est plus claire, point granuleuse; on y voit un ou deux noyaux granuleux. On trouve aussi dans le sang des noyaux libres ou globulins, de 0mm,003 à 0mm,005 de diamètre, granuleux, sans nucléoles.

Dans le sang de l'homme, ils sont environ dans la proportion de 1 sur 300 globules rouges; mais on les rencontre en plus grand nombre chez la femme (1 sur 250). Ils sont d'ailleurs d'autant plus nombreux que le sujet est plus jeune.

D'un à deux ans..................	1 sur 100
Nouveau-nés.....................	1 sur 100 à 130
Embryon humain.................	1 sur 80 à 100

On voit encore ici que, sous le rapport du nombre des leucocytes, la femme prend de nouveau place entre l'homme et l'enfant (1).

Parfois les leucocytes sont en nombre considérable dans le sang, auquel ils communiquent une teinte grisâtre ou lie de vin. Leur nombre atteint alors et même dépasse la proportion enfantine et embryonnaire. Il est important de noter que, dans ces cas de *leucocythémie,* il y a généralement un gonflement soit du foie et de la rate, soit des glandes lymphatiques.

Les leucocytes ne se rencontrent pas seulement dans le sang; on les trouve aussi dans le plasma vivant, qui nous reste à étudier, dans la lymphe, et alors on peut remarquer qu'ils sont plus nombreux dans ce liquide quand on l'examine au delà des glandes lymphatiques.

Enfin les leucocytes flottent en nombre variable dans la plupart des humeurs de l'économie. On les rapproche des corpuscules granuleux, existant en si grand nombre dans

(1) Ch. Robin, *loc. cit.*

le pus. Pourtant, dans ces derniers globules, les mouvements amiboïdes sont moins évidents et les noyaux moins facilement visibles.

Les leucocytes se rencontrent dans le sang de tous les mammifères et aussi dans celui des oiseaux, des reptiles et des poissons. En outre, tandis que le globule rouge est spécial aux vertébrés, les globules blancs, au contraire, existent aussi chez les invertébrés.

Nous avons signalé la présence des leucocytes dans le pus ; mais on en trouve aussi dans le blastème des cicatrices, dans ce qu'on appelle la *lymphe plastique*.

On ne peut faire sur le rôle des globules blancs que des conjectures plus ou moins plausibles. Peut-être les doit-on regarder comme un état transitoire, primitif, des globules rouges.

Nous savons en effet que les premiers globules embryonnaires, ceux que l'on n'hésite pas à regarder comme les premiers échantillons des globules rouges, sont à peu près incolores, comme les globules blancs, qu'ils ont un noyau comme eux, enfin que certains vertébrés inférieurs n'ont que des globules incolores. L'abondance des leucocytes dans le sang de l'embryon mammifère vient encore à l'appui de cette hypothèse. Si cette manière de voir était fondée, en en rapprochant la présence des leucocytes dans la lymphe, leur plus grand nombre après que cette lymphe a passé par les ganglions, le gonflement de ces ganglions ou de la rate et du foie dans la leucocythémie, on serait amené à considérer ces glandes et ces ganglions comme les foyers d'origine, les centres de création des globules sanguins, qui, avant de se teinter de rouge, de se rétracter, pour prendre la forme des hématies, commenceraient par être des leucocytes.

Dans la leucocythémie, il y aurait surabondance de formation globulaire, et ces éléments seraient plus volu-

mineux, mêlés d'un grand nombre de globulins libres. Ils se transformeraient alors difficilement en globules rouges.

VII. *De la lymphe.*

On sait qu'outre le grand système circulatoire composé d'artères, de veines, dans lesquelles un organe propulseur, le cœur, chasse incessamment le sang, il existe chez les vertébrés supérieurs un système circulatoire secondaire, sans organe central de propulsion. Ce système, composé d'un immense et fin réseau qui est semé de glandes spéciales dites *ganglions*, a son origine, d'une part, dans la trame des tissus et surtout à la surface des membranes; d'autre part, autour des vaisseaux sanguins les plus ténus, des capillaires. Dans ce système lymphatique, circule lentement un plasma jaunâtre, transparent, charriant des globules blancs, et contenant, comme le sang, des principes immédiats des trois classes : c'est la *lymphe*. Les matériaux de la lymphe proviennent en grande partie, comme ceux du sang, des éléments anatomiques, et ils en proviennent aussi par voie osmotique. La portion du réseau tapissant la muqueuse stomacale et intestinale absorbe directement les nutriments, et spécialement les graisses émulsionnées qui, durant la digestion, lui donnent une teinte lactée.

La lymphe n'est point charriée dans un circuit sans fin, comme le sang. En effet, tout le système aboutit chez l'homme à deux troncs principaux, se jetant dans deux gros vaisseaux veineux, les veines sous-clavières droite et gauche.

Le plasma lymphatique, si analogue au plasma sanguin, se comporte comme lui quand il est hors des vaisseaux. Alors aussi il y a dédoublement de plasmine et formation d'un caillot fibrineux.

La lymphe est alcaline, comme le sang. Elle contient à peu près les mêmes principes immédiats, mais en moindre quantité et plus dilués. Comme son cours est très-lent, il en résulte qu'elle n'a pas partout, comme le sang, une composition sensiblement uniforme. Cette composition varie, au contraire, avec chaque région, avec l'heure de la digestion, etc. En général, la lymphe est d'autant plus chargée de substances, qu'on l'examine plus près de ses gros troncs d'abouchement avec le système sanguin.

Chez les mammifères, la lymphe est un liquide essentiel, indispensable à la durée de la vie. Si, chez ces animaux, on pratique une fistule au plus gros tronc lymphatique, au *canal thoracique*, la lymphe ne pouvant plus alors se mélanger au sang en quantité suffisante, on voit les patients maigrir et mourir rapidement, tout en continuant à s'alimenter.

Quel est le rôle spécial de la lymphe et de la circulation lymphatique? C'est là encore un point de physiologie assez obscur. Evidemment le système lymphatique est un adjuvant du système circulatoire ; il recueille des principes immédiats dans le système digestif et dans la trame des tissus, puis il les déverse dans la grande circulation. Sa fonction spéciale la plus probable est de former des globules blancs et de les charrier jusqu'au grand courant sanguin. Le fait qu'une fistule du canal thoracique est suivie de mort prouve bien que le système lymphatique n'est pas un appareil de luxe et qu'il joue dans l'économie un rôle des plus importants.

LIVRE II

DES PHÉNOMÈNES PRIMORDIAUX DE LA VIE

CHAPITRE I

DE LA NUTRITION

On ne saurait se faire une idée précise du mécanisme de la nutrition, si l'on n'a pas bien présentes à l'esprit les lois générales de la diffusion et celles de l'osmose, spécialement entre cristalloïdes et colloïdes.

On sait que deux solutions de densité différente, mises séparément dans un bocal à diffusion, et par conséquent en contact seulement sur une petite surface, se mélangent peu à peu intimement, à ce point qu'après un laps de temps donné, le mélange a partout une composition identique.

On sait aussi que chaque substance a un degré de diffusibilité spéciale, et que généralement les substances colloïdes ont une diffusibilité infiniment inférieure à celle des substances cristalloïdes. On se fera une idée plus complète de cette différence en parcourant le tableau suivant :

QUANTITÉS DIFFUSÉES EN DES TEMPS ÉGAUX.

Chlorure de sodium	58,68
Sulfate de magnésie	27,42
Nitrate de soude	51,56
Acide sulfurique	69,32
Sucre candi	26,74
Sucre d'orge	26,21

Mélasse de sucre de canne	32,55
Sucre d'amidon	26,94
Gomme arabique	13,24
Albumine..............................	3,08

En outre, ces colloïdes, si lents à se mélanger, à se diffuser, se laissent facilement pénétrer par les cristalloïdes, tandis que leurs analogues ne les peuvent traverser qu'en prenant, par modification isomérique, un état tout spécial de solubilité. Nous verrons, par exemple, en parlant de la digestion animale, que les substances albuminoïdes des aliments ont besoin, pour passer dans le système circulatoire, de se transformer, au préalable, en albuminose soluble.

Il faut encore se rappeler que deux substances incapables de se combiner chimiquement, et possédant différents degrés de diffusibilité, se séparent jusqu'à un certain point, lorsqu'elles sont mises, à l'état de mélange, dans un bocal à diffusion; car alors la plus diffusible passe au dehors plus vite que l'autre.

L'application des données précédentes à la nutrition se fait pour ainsi dire d'elle-même. En effet, au point de vue simplement physique, les êtres organisés ne sont que des amas de substances colloïdes, tenant en dissolution des substances cristalloïdes. Cette définition est strictement vraie pour nombre d'organismes rudimentaires, tels que les amibes, la plupart des infusoires; en général, pour tous ces êtres ni végétaux ni animaux, dont Hæckel a fait son groupe des monères. Elle s'applique même à nombre de zoophytes, et aussi à chaque élément histologique des organismes supérieurs isolément considéré. Prenons la petite masse amorphe de substance albuminoïde contractile, qui constitue une amibe, un rhizopode, ou bien des êtres monocellulaires, comme le *protococcus nivalis*, nombre d'infusoires, enfin les globules

du sang des mammifères et même les cellules et fibres groupées en tissus pour former le corps des végétaux et des animaux supérieurs; nous voyons qu'en résumé tout élément vivant, ultime, isolé ou associé à d'autres éléments analogues, n'est qu'une petite masse de substance colloïde. Mais, comme tous les corps colloïdes, cette substance est capable de s'imbiber d'eau ou de solutions aqueuses; elle en est en quelque sorte avide; aussi s'établit-il entre ses molécules un courant aqueux, incessant, qui leur apporte des substances solubles, cristalloïdes ou albuminoïdes modifiées, qui, en même temps, leur reprend d'autres substances ordinairement cristalloïdes, devenues impropres à faire partie du corps vivant.

Les phénomènes de diffusion ne sont, du reste, nullement propres à l'état liquide. Dans un milieu gazeux, la diffusion des liquides est simplement remplacée par une diffusion gazeuse directe ou indirecte. Nous avons vu, d'autre part, que des phénomènes analogues se produisent même au sein des liquides vivants, dans le sang et la lymphe des animaux supérieurs.

Mais, si la condition physique de la nutrition est la diffusion simple, chez les êtres amorphes, non encore composés de cellules ou de fibres, elle est un peu plus complexe chez les autres, à partir des organismes monocellulaires jusqu'aux mammifères supérieurs constitués par des fibres et des cellules soudées ou groupées en tissus. Ici, la diffusion s'accompagne du passage des liquides à travers une membrane, c'est-à-dire qu'il y a *osmose*, et naturellement osmose à double courant, de dehors en dedans et de dedans en dehors, *endosmose* et *exosmose*.

Il nous faut aussi faire pour l'osmose ce que nous avons fait pour la diffusion, c'est-à-dire en rappeler brièvement les faits principaux. L'osmose, découverte par Dutro-

chet (1), puis étudiée surtout par Graham, qui lui donna le nom de *dialyse*, est, comme on le sait, le mélange de deux solutions d'inégales densités, séparées par une membrane. En définitive, c'est de la diffusion dans des conditions mécaniques spéciales, qui permettent de superposer les liquides, en mettant, par exemple, le plus dense au-dessus du moins dense. Puisqu'il y a, au fond, une très-grande analogie entre la diffusion et l'osmose, il va de soi que les substances les plus lentes à l'osmose doivent être les substances colloïdes; c'est aussi ce que l'expérience confirme. Dans l'osmose, la cloison membraneuse, ordinairement organique, qui sépare les liquides, est traversée simultanément par un double courant; et d'habitude le courant le plus fort va du liquide le moins dense vers le plus dense. Il est d'ailleurs des exceptions; par exemple, si de l'eau et de l'alcool sont séparés par un fragment de vessie, l'eau passera en grande quantité du côté de l'alcool. On a supposé que, dans ce cas, la direction du courant tient à l'inégalité des attractions capillaires entre les liquides et les deux faces de la membrane. L'eau, mouillant la membrane mieux que l'alcool, s'élèverait par capillarité dans ses pores, et, au contraire, si l'on remplace la vessie par une couche de collodion, lequel est mieux mouillé par l'alcool que par l'eau, la direction de l'osmose sera renversée. Toutes les membranes avec lesquelles on a fait des expériences osmotiques sont, en effet, percées de véritables trous (vessie, collodion, papier, parchemin, etc.). Mais cette explication ne saurait convenir à tous les cas, et spécialement aux cas d'osmose à travers les membranes vivantes. En effet, autant que nos microscopes les plus puissants nous permettent de

(1) J.-B. Dutrochet, *De l'endosmose*, dans *Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux*, t. I. Paris, 1837.

nous en assurer, les surfaces des cellules et des fibres animales et végétales sont d'une homogénéité absolue. On n'y trouve nulle trace de pores. Force est bien, sans doute, d'admettre des intervalles moléculaires et atomiques, à travers lesquels le passage des solutions doit s'effectuer; mais dans ce cas l'osmose s'accompagne d'une action chimique exercée sur la membrane dialysante. Les liquides, gaz ou vapeurs, qui traversent les parois cellulaires ou fibrillaires, s'unissent, chemin faisant, molécule à molécule, aux éléments chimiques constituant cette paroi; puis, comme de l'autre côté de la membrane ils se trouvent en contact avec un fluide nouveau, ils abandonnent alors les éléments de la paroi pour se combiner avec ceux du fluide qu'ils rencontrent. Cette explication, proposée par M. Ch. Robin, rendrait raison, si elle était fondée, d'un fait extrêmement important. Elle ferait comprendre pourquoi, au sein des organismes, la composition du fluide absorbé n'est plus, en deçà de la membrane ou de la paroi vivante, ce qu'elle était au delà; phénomène particulier à l'osmose biologique et ne se produisant jamais dans les endosmomètres et appareils à dialyser.

Mais, fondée ou non, cette explication ne nous semble nullement nécessaire pour rendre raison des changements occasionnés dans la composition des fluides par l'absorption physiologique. Il suffit, pour expliquer cette métamorphose, de tenir compte des phénomènes chimiques en même temps que des phénomènes physiques. Jusqu'ici, presque toutes les expériences osmotiques effectuées dans les laboratoires ont porté sur des liquides miscibles, mais n'exerçant l'un sur l'autre aucune action chimique. Ce n'est pas évidemment ce qui arrive dans les tissus vivants. Là les fluides, qui ont traversé une paroi vivante, tiennent en dissolution des substances instables qui se trouvent, par le fait de l'osmose, en contact avec d'autres fluides

composés de substances de complexité analogue et de composition différente. Il y a évidemment, lors de ce conflit, des échanges de molécules, des réactions chimiques; les substances nouvelles venues réparent l'usure des anciennes, et, pour cela, force leur est bien de s'allier, de se combiner avec elles. Le résidu de ces opérations et celui de l'usure des substances préalablement organisées sont un mélange de divers corps cristalloïdes, qui est promptement entraîné hors des éléments histologiques, fibres et cellules, pour être ensuite expulsé définitivement de l'organisme. Nous avons vu que rien n'est plus facile que de séparer, avec un dialyseur, une substance cristalloïde d'une substance colloïde. Il est bien évident, néanmoins, que la paro icellulaire n'est pas inerte dans tout ce travail de mutation moléculaire. Elle est vivante, tout aussi bien que son contenu, et doit, par conséquent, participer aussi aux phénomènes de transformation.

On pourrait sûrement, dans les expériences osmotiques, se rapprocher beaucoup plus de ce qui se passe dans les corps organisés, en faisant réagir sur des substances colloïdes des corps oxydants, capables de donner ainsi naissance à des corps cristalloïdes, etc.

Les curieuses expériences de Traube sur les cellules artificielles nous ont appris qu'il était déjà possible d'imiter, dans une certaine mesure, les phénomènes physiques et chimiques de la vie (1). Certes, on est loin d'avoir copié, dans la mesure du possible, les phénomènes de physique animale et de physique végétale qui forment le fond, le support des actes vitaux. Sans doute, le peu d'initiative dont ont fait preuve à ce sujet les expérimentateurs doit, pour une large part, être attribué aux idées métaphysiques et mystiques que l'on s'était faites de la vie. Tant que les

(1) *Experimente zur Theorie der Zellbildung und Endosmose* (*Archiv für Anatomie*, etc., von Reichert und Dubois-Reymond, 1867, p. 87.)

phénomènes vitaux ont été considérés comme d'un ordre tout à fait à part, comme n'ayant nul rapport avec les phénomènes physiques ou chimiques; tant que l'on a cru devoir invoquer, pour expliquer ce qu'on appelait « le miracle de la vie », des entités directrices, indépendantes des corps, des sortes de dieux immatériels, préposés au gouvernement physiologique de chaque organisme, des archées, un principe vital, etc., il était naturellement presque impossible que l'idée de reproduire artificiellement les principaux actes physico-chimiques de la vie vînt aux expérimentateurs. Il en est heureusement tout autrement de nos jours; aussi voyons-nous les savants s'engager enfin dans des voies où ils n'auraient jamais songé à entrer il y a un demi-siècle.

M. Traube a basé ses expériences sur deux faits principaux. Le premier de ces faits a été établi par Graham : c'est que les colloïdes dissous sont incapables de se diffuser à travers des membranes colloïdales. Le second fait est que les précipités des substances colloïdales sont eux-mêmes colloïdaux. Partant de ces données, M. Traube a pu faire artificiellement des cellules, dont la paroi était formée de tannate de gélatine. Il prend une goutte de gélatine qui, par une ébullition de trente-six heures, a perdu sa coagulabilité. Il la laisse se dessécher à l'air pendant plusieurs heures, et, à l'aide d'une baguette fixée dans le bouchon d'un flacon à demi rempli d'une solution de tannin, il la plonge dans ce liquide. Alors la petite quantité de gélatine, qui se dissout à la surface de la goutte, se combine avec le tannin, et il en résulte une membrane cellulaire fermée. Mais cette membrane est homogène, imperforée, comme les membranes organiques. Aussi la diffusion, qui s'établit entre son contenu et le liquide extérieur, doit s'effectuer osmotiquement à travers les interstices moléculaires. L'osmose se produit très-énergique-

ment. La membrane se distend de plus en plus; par suite, ses molécules constituantes s'écartent les unes des autres; à un moment donné, quand les molécules des deux liquides en présence peuvent facilement s'introduire dans les interstices moléculaires de la membrane et s'y rencontrer, ils y forment, de nouveau, des molécules de tannate de gélatine. Par conséquent, *la membrane s'accroît par intussusception*. En effet, il suffit, pour arrêter tout accroissement, de remplacer la solution de tannin par de l'eau.

M. Traube forme aussi, de la même manière, des membranes endosmotiques fort curieuses, imperméables à certaines substances, très-perméables à d'autres, en un mot, exerçant sur les substances en contact avec elles une action élective, comme le font les membranes vivantes.

Selon M. Traube, tout précipité dont les interstices moléculaires sont plus petits que les molécules de ses composants, doit prendre la forme d'une membrane.

Enfin l'endosmose à travers les membranes dépendrait uniquement de l'attraction du corps qui se dissout pour son dissolvant.

Ces expériences sont infiniment curieuses; pourtant elle copient bien imparfaitement encore ce qui se passe dans les cellules vivantes. C'est quelque chose d'avoir obtenu par de simples procédés chimiques une membrane qui s'accroît par intussusception, puisque ce mode d'accroissement est, depuis un temps immémorial, considéré comme particulier aux corps vivants; mais dans la cellule vivante il y a plus encore : le contenu n'est pas plus inerte que la membrane d'enveloppe; il se modifie et se renouvelle sans cesse, molécule à molécule, sans se détruire.

Dans les phénomènes primordiaux de la nutrition, il y a, en effet, deux actes, ou plutôt deux faces principales d'un même phénomène, l'assimilation et la désassimilation. A

l'assimilation se rapportent les faits d'absorption et d'endosmose; à la désassimilation sont liés les faits de sécrétion et d'exosmose. Il faut bien se souvenir que la désassimilation a pour résultat de transformer les substances colloïdes des corps vivants en substances cristallisables, tenant en quelque sorte le milieu entre les substances organiques et les substances minérales.

Il est aujourd'hui bien démontré que ces faits primordiaux de la nutrition sont identiques dans tout l'univers vivant, aussi bien dans le monde animal que dans le monde végétal. On sait, en outre, que le principal agent de toutes ces transformations, de tous ces échanges, est l'oxygène de l'air.

Chez les êtres les plus rudimentaires, amorphes ou monocellulaires, l'oxygène se diffuse directement au milieu des molécules de la substance vivante; il oxyde cette substance par une sorte de combustion lente, et détermine la formation de divers corps organiques cristallisables et d'un gaz, l'acide carbonique; le tout est ensuite expulsé.

Chez l'être dont la structure est plus complexe, là où il y a agrégation de cellules, de fibres, en un mot d'éléments histologiques divers, ayant chacun leur forme, leurs fonctions spéciales, étant de plus groupés en tissus particuliers, l'oxygène de l'air, et plus généralement toutes les substances qui pénètrent dans l'organisme et en sortent, ont à subir une sorte de stage avant d'être assimilées ou excrétées. Dans les cas les plus simples, quand l'organisme est seulement constitué par des éléments histologiques de même nature, plus ou moins étroitement soudés et baignant dans un liquide interstitiel, sans qu'il y ait encore ni système circulatoire, ni système respiratoire, ni système digestif, alors les substances nutritives et les substances désassimilées se dissocient dans le blastème inter-

cellulaire. C'est dans ce liquide, imprégné aussi d'oxygène et d'acide carbonique dissous, que les éléments histologiques choisissent les matériaux qui leur agréent et rejettent ceux qui ne sauraient plus leur convenir. A un degré plus élevé de structure, il se surajoute des appareils spéciaux, des systèmes plus ou moins ramifiés de canaux, dans lesquels circulent les liquides et les gaz. Mais, même alors, le liquide interstitiel, intercellulaire, ne cesse pas d'exister; seulement il se renouvelle, se revivifie et s'épure sans cesse en puisant dans les fluides circulatoires, en s'y débarrassant à son tour des substances destinées à l'élimination.

En résumé, le liquide intercellulaire se comporte vis-à-vis des fluides circulatoires comme les éléments histologiques se comportent vis-à-vis de lui.

On le voit, c'est par un artifice de construction que la presque totalité des êtres organisés vit dans l'air. En fait, tous les éléments histologiques constituant les organismes complexes sont aquatiques; ils baignent dans un liquide spécial, dans un milieu vivant, qui est en même temps leur raison d'être et le résultat de leur fonctionnement nutritif. Cl. Bernard a beaucoup contribué, dans ces dernières années, à propager cette heureuse idée des milieux intérieurs, tels que le sang des animaux, la séve des végétaux, etc., « cet ensemble de tous les liquides interstitiels, cette expression de toutes les nutritions locales, source et confluent à la fois de tous les échanges élémentaires (1). » On peut admettre, avec l'éminent physiologiste, sauf quelques restrictions pour les êtres vivants tout à fait rudimentaires, qu'il n'y a pas de nutrition directe, et que, par exemple, un fragment de polype d'eau douce, quand il se reconstitue et se complète au point de redevenir

(1) *Revue scientifique*, 1874.

un polype entier, se sert principalement du fluide nutritif interstitiel qui imprégnait d'avance le fragment séparé.

Donc, pour tout être organisé complexe, il y a trois milieux superposés : le milieu cosmique, aérien ou aquatique, mais, dans ce dernier cas, tenant de l'air en dissolution; le milieu sanguin ou séveux; enfin le milieu interstitiel, intercellulaire. Naturellement les milieux internes ont besoin, comme les milieux externes, de se maintenir dans ce que nous appelons *un état de pureté convenable,* c'est-à-dire dans un état de composition assez bien équilibré, pour que les éléments histologiques y trouvent à chaque instant leur pâture. Nous verrons, dans le cours de cet exposé, que, dans les organismes complexes, des appareils spéciaux d'exhalation, de sécrétion et d'excrétion sont chargés d'entretenir incessamment, à travers ces milieux, des courants rénovateurs, de même que d'autres appareils, par exemple l'appareil digestif et certaines glandes, y versent des nutriments convenables.

Ces données générales établies, nous pouvons maintenant analyser les actes, les phases de la nutrition. Nous savons que cette propriété biologique s'exerce dans toutes les substances vivantes, figurées ou non, aussi bien dans les plasmas et les blastèmes que dans les éléments figurés. Dans les uns et dans les autres, elle dépend : d'une part, des conditions physiques d'endosmose, d'exosmose et de diffusion; d'autre part, des affinités physiques des substances mises en présence. Dans tout cela, pas la moindre place pour un agent métaphysique. Il s'agit simplement de phénomènes physiques et chimiques se produisant dans des conditions de complexité et de simultanéité toutes spéciales, mais étroitement liées d'ailleurs aux variations du milieu ambiant. On voit, en effet, ces phénomènes s'exagérer ou s'affaiblir suivant que l'air est plus

ou moins oxygéné, suivant que la température est plus ou moins haute, etc.

Quoique les phénomènes nutritifs soient simultanés et ininterrompus, on peut, pour la commodité de l'exposition, les diviser en phénomènes d'assimilation et phénomènes de désassimilation.

C'est par endosmose que les principes immédiats arrivent dans la substance des éléments anatomiques ou dans les liquides vivants. Les principes de la première classe, c'est-à-dire les substances minérales, y parviennent souvent sans modification, par simple dissolution, comme le font, par exemple, les chlorures et les sulfates alcalins. Certaines d'entre ces substances se combinent avec les matières organiques, comme le phosphate de chaux, par exemple, se combine à l'osséine dans les os; mais alors, contrairement aux lois de la chimie non vivante, la combinaison ne semble pas se faire en proportions définies. C'est une sorte d'alliage.

Chez les végétaux, le pouvoir d'assimilation paraît plus énergique. C'est dans le milieu minéral, en effet, que le végétal doit puiser directement ses aliments; aussi voit-on les parties vertes des plantes assimiler d'emblée le carbone de l'acide carbonique aérien et l'incorporer immédiatement à des substances organiques complexes, ternaires et quaternaires. Le même pouvoir synthétique est exercé, dans de certaines circonstances, sur l'azote de l'air et normalement sur l'azote des sels ammoniacaux puisés par les racines dans le sol.

Chez l'animal, les vrais phénomènes d'assimilation s'exercent généralement aux dépens de substances albuminoïdes déjà élaborées. Un fait important à noter, c'est que les substances organiques assimilées n'ont jamais, au préalable, la même composition que celles qui forment les éléments anatomiques assimilateurs : la musculine,

l'élasticine, etc., propres à chaque espèce de cellule, de fibre, etc., ne se rencontrent, en effet, nulle part en dehors des éléments qu'elles constituent et reconstituent incessamment; elles se forment dans l'organisme animal aux dépens des liquides vivants, par catalyses isomériques (1).

Les éléments anatomiques peuvent s'assimiler un grand nombre de substances, mais ils ont nécessairement leurs affinités propres, tout à fait analogues à celles des corps de la chimie minérale. De là résulte un choix, un triage, qui ont longtemps paru intelligents, quoiqu'il n'y entre pas plus d'intelligence que dans l'affinité du chlore pour l'hydrogène, de l'acide sulfurique anhydre pour l'eau, etc. Ces combinaisons chimiques, formées dans la substance des éléments anatomiques, ont pour caractère d'être très-instables, et d'autant plus instables que la vie s'est élevée à un degré plus supérieur, qu'elle est plus animalisée. Ainsi l'instabilité chimique est beaucoup plus grande chez les éléments anatomiques animaux que chez les éléments végétaux (2). On ne dissocie, chez ces derniers, les combinaisons chimiques qu'avec l'aide d'agents chimiques énergiques. Aussi est-il beaucoup moins facile d'interrompre le mouvement vital chez le végétal que chez l'animal. Mais, chez l'un et chez l'autre l'instabilité chimique, à des degrés divers, est la condition même de la vie. Toute combinaison trop stable équivaut à la mort.

L'assimilation nutritive a naturellement pour condition une désassimilation correspondante. Pour que des substances nouvelles s'incorporent à un élément anatomique, il faut de toute nécessité que d'autres substances leur cèdent la place. En effet, incessamment, une portion des

(1) Ch. Robin, *Anatomie microscopique des éléments anatomiques*. In-8°. Paris, 1868.

(2) Ch. Robin, *loc. cit.*, p. 65.

substances, qui faisaient partie de l'élément anatomique, cessent de ressembler aux substances fondamentales, et elles s'en séparent. Elles n'ont point pour cela cessé d'être des substances albuminoïdes complexes, mais généralement elles se sont oxydées davantage et sont passées à l'état de matières cristallisables; elles ont fait un pas pour retourner au monde minéral.

Quant aux substances minérales expulsées de l'élément anatomique, certaines n'ont fait que le traverser sans s'altérer. Ainsi font certains sels, l'azote, l'eau, etc. D'autres composés minéraux, cependant, s'y sont formés par combinaison directe, comme ils l'auraient fait dans une cornue. C'est ainsi que se produisent, chez les animaux, les carbonates alcalins, les lactates, le phosphate ammoniaco-magnésien, les phosphates de chaux, les urates, l'acide carbonique, etc.

L'échange nutritif ne s'effectue pas dans tous les tissus avec la même énergie. En général, c'est dans la cellule proprement dite ou dans les tissus formés par des agrégations cellulaires, que ce double courant atteint son maximum de puissance. La nutrition peut souvent alors s'effectuer sans le secours d'appareils circulatoires spéciaux. Le troc des matériaux nutritifs s'opère dans ce cas de proche en proche avec une suffisante rapidité. Les choses se passent ainsi chez certains organismes inférieurs, simplement polycellulaires, dans le cristallin de l'œil des mammifères, etc.

Si un tissu est à la fois constitué par des cellules et pourvu d'un riche réseau vasculaire, il est alors dans des conditions particulièrement favorables et la nutrition y est rapide et énergique; c'est ce qui a lieu, chez les mammifères, dans le tissu médullaire des os, dans la substance grise du cerveau, etc.

Après l'exposé des quelques données générales, aux-

quelles nous avons consacré ce chapitre, il nous sera maintenant plus aisé de faire successivement, dans les deux règnes organiques, l'histoire de la nutrition, c'est-à-dire de la propriété vitale, qui est le support et la raison d'être de toutes les autres.

CHAPITRE II

NUTRITION VÉGÉTALE

Dans la composition de tout végétal, on trouve des substances minérales, des substances ternaires non azotées et des substances protéiques. Or les végétaux ne se mangeant pas directement les uns les autres, comme font les animaux, force est bien que les substances organiques végétales soient habituellement créées par le végétal lui-même, aux dépens du milieu minéral qui l'environne. Ramenées à leurs éléments minéraux primaires, les substances organiques complexes donnent du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote, une certaine quantité de soufre et de phosphore. Si l'on ajoute à ces éléments du chlore, du calcium, du silicium, du potassium, du sodium, du magnésium, du lithium, du fer, souvent du manganèse, et pour les plantes marines, de l'iode et du brome, on a à peu près le bilan élémentaire du monde végétal. Naturellement, les métaux, que nous venons d'énumérer, forment des bases qui se combinent avec les acides qu'elles rencontrent, pour constituer des sulfates, des silicates, des chlorures, souvent des sels organiques, par exemple des oxalates, etc.

Pour se faire une suffisante idée de la nutrition végétale, il faut suivre ces éléments minéraux, noter comment ils entrent dans la plante, indiquer les combinaisons qu'ils y forment, enfin les abandonner seulement alors qu'ayant achevé de jouer leur rôle dans l'organisme végétal, ils en sont enfin expulsés.

De ces éléments chimiques, certains, par exemple, sont empruntés à l'air, certains autres au sol. Les éléments mi-

néraux, pris directement à l'air ambiant par le végétal, sont l'hydrogène, l'oxygène, le carbone. L'hydrogène et l'oxygène sont absorbés et fixés par la plante soit simultanément à l'état d'eau, soit isolément. Il est vraisemblable, en effet, que les parties vertes des plantes ont le pouvoir de décomposer l'eau, qu'elles puisent pour une petite partie dans l'atmosphère, mais en quantité énorme dans le sol. Les parties chlorophylliennes effectueraient la décomposition de l'eau, quelle qu'en fût la provenance, et en fixeraient directement les éléments dans les combinaisons complexes, dont nous avons parlé. C'est là, d'ailleurs, un point mal étudié encore. Il est au contraire certain que la plus grande partie de l'oxygène absorbé par la plante est prise dans l'atmosphère directement et un peu par toutes les parties de l'organisme végétal. Quant au carbone, qui forme en poids la majeure partie de toute plante desséchée, il est aussi emprunté directement par les portions vertes des plantes à l'acide carbonique de l'air. C'est même là un des points de la physiologie végétale les plus intéressants et les mieux étudiés. Toutes les autres matières minérales, et la presque totalité de l'eau, sont absorbées par les racines de la plante, pénètrent dans les tissus végétaux, s'y élèvent, y rencontrent, surtout dans les feuilles, les substances minérales empruntées à l'air, et certaines d'entre elles y forment des combinaisons complexes.

La physiologie végétale est encore si confuse, la division du travail est si mal accusée dans la plante, qu'il n'est pas facile d'y délimiter des fonctions bien déterminées, bien distinctes les unes des autres. Tout se tient, se mêle et s'enchaîne. Néanmoins, pour la clarté de l'exposition, force nous est bien de faire des divisions plus ou moins naturelles; il nous faut, en effet, parler de phénomènes emmêlés, intriqués, s'effectuant parfois simultanément

dans les mêmes tissus ou organes. Il nous faut dire comment pénètrent dans la plante les nombreuses substances minérales que l'analyse chimique y retrouve, comment ces substances se sont infiltrées dans les tissus, quels composés elles y ont formés sous la puissante action du mouvement nutritif, comment enfin et dans quelle proportion elles étaient éliminées durant la vie du végétal, après être devenues impropres à figurer dans le tourbillon nutritif.

I. *Formation et circulation de la séve.*

Prenons pour type une plante complète, une dicotylédonée, plongeant ses racines dans le sol, étalant ses rameaux dans l'air. Au printemps, une telle plante s'imprègne incessamment des matériaux qu'elle dérobe au milieu extérieur. Elle en absorbe par les racines, par les feuilles, par l'écorce. C'est par le procédé osmotique, que les racines puisent dans le sol les premiers matériaux de la séve. Ce sont les délicates cellules des extrémités des racines, des spongioles radicellaires, qui sont les principaux agents de l'absorption. Ces cellules contiennent un protoplasme dense et albumineux, coagulable par l'acide nitrique ; elles sont en contact avec le sol par leur membrane cellulaire, par les poils qui les garnissent; elles sont donc dans des conditions très-favorables à l'absorption osmotique. Il est, d'ailleurs, facile de prouver que c'est bien grâce au procédé tout physique de l'endosmose, que les racines s'abreuvent de l'humidité du sol, puisqu'il suffit de les plonger dans une solution sucrée et dense pour arrêter leur travail d'absorption. Dans le sol, au contraire, l'eau, relativement peu chargée de substances dissoutes, mouille les extrémités des racines, pénètre par endosmose dans leurs éléments anatomiques, et s'y mélange à leur proto-

plasme, en entraînant avec elle des sels ammoniacaux, des phosphates, des sels de potasse, etc.

Mais, pour accomplir leur office, les poils des racines ont besoin, comme toutes les cellules organisées, de se nourrir, c'est-à-dire de s'oxyder, d'absorber de l'oxygène et d'exhaler de l'acide carbonique; aussi la pénétration de l'air dans le sol où plongent les racines, est-elle indispensable à l'entretien de la vie des plantes. L'exhalation de l'acide carbonique par les racines a aussi son utilité. En effet, c'est grâce à la présence de cet acide carbonique que certains sels deviennent solubles dans l'eau, et peuvent ainsi pénétrer dans les cellules radicales. Il en est ainsi, par exemple, pour certains phosphates et sans doute aussi pour la silice, etc. Une fois introduites dans les cellules des spongioles, des poils radicaux, les substances entraînées par l'eau, qui les tient en dissolution, passent de cellule en cellule, chacune les empruntant aux autres, à mesure que se produit l'usure nutritive. Chez les plantes à racines, ce mouvement ascensionnel des liquides puisés dans le sol est facilité par la présence de ces vaisseaux et faisceaux vasculaires, que nous avons décrits précédemment; il n'y a même de racines que chez les plantes dont le tissu cellulaire est parcouru par des vaisseaux. Au printemps, le flot du liquide séveux est si abondant, qu'il envahit tout : cellules, fibres, vaisseaux, même les interstices des cellules ou méats intercellulaires. Ce flot monte ainsi de la racine aux feuilles, mais en circulant plus vite dans les vaisseaux, où il rencontre moins d'obstacles et est, dans une certaine mesure, soulevé par la capillarité. Le grand mouvement d'ascension se fait par la partie centrale, par le corps ligneux ou par sa zone extérieure, plus jeune et moins incrustée, si le végétal est déjà âgé. Très-certainement des causes multiples, l'endosmose, la diffusion, la capillarité, la fixation nutritive

des matériaux alibiles dans les bourgeons, l'évaporation à la surface des feuilles, concourent à l'ascension de la séve; mais la cause la plus puissante est sûrement l'absorption exercée par les cellules terminales des racines. En effet une plante peut vivre, et vivre activement, alors que ses extrémités radicales plongent seules dans l'eau.

Outre ce grand mouvement général du liquide séveux, il en est d'autres plus intéressants peut-être, ce sont ceux du contenu des cellules, du protoplasme. Ce liquide, que nous savons être habituellement un liquide albuminoïde, est granuleux, et l'on voit, dans presque tous les végétaux, ses granulations exécuter le long des parois de la cellule ou de la fibro-cellule un mouvement giratoire. Elles montent d'un côté et redescendent de l'autre. Ce mouvement protoplasmique est un mouvement vital, lié vraisemblablement aux échanges et aux réactions moléculaires de la nutrition. Il ne s'effectue, en effet, que dans des limites thermométriques déterminées. La limite minimum est aux environs de 0 degré, la limite maximum vers 45, 47 degrés. C'est vers 35 à 37 degrés que la vitesse du courant protoplasmique atteint son maximum. Quand c'est le froid qui arrête ce mouvement giratoire, on peut, en réchauffant le sol, remettre le liquide en mouvement (1).

En regard de cette action manifeste de la chaleur, il est curieux de voir que la lumière semble influer peu ou point sur le mouvement protoplasmique, qui s'opère sans modification apparente, alors même que la plante est maintenue dans l'obscurité.

Après avoir tournoyé dans les cellules, cheminé dans les vaisseaux et les méats, avoir pris et abandonné aux éléments, qu'elle a traversés ou côtoyés, certaines des matières qu'elle charrie, la séve arrive enfin à la partie

(1) Nägeli, cité par Sachs, *Traité de botanique*, p. 855, 856.

vraiment aérienne du végétal. Là elle subit de très-importantes modifications, grâce à l'action spéciale d'une substance, dont il nous faut maintenant parler. Cette substance est la matière verte des feuilles, la *chlorophylle*.

II. *Propriété chlorophyllienne.*

La chlorophylle est la substance à laquelle toutes les parties vertes des plantes doivent leur couleur. Dans les cellules de certains lichens et de certaines algues, la chlorophylle se présente parfois à l'état amorphe, colorant tout le protoplasme, ou bien en amas irréguliers, mais habituellement, dans toutes les plantes vasculaires, elle a une forme définie, celle de granulations vertes de $0^{mm},001$ à $0^{mm},005$ de diamètre, d'apparence homogène et sans noyaux. On peut retirer de cette matière verte des corps gras cristallisables, de la stéarine, de la margarine, etc., et un principe immédiat azoté, la chlorophylle proprement dite, dont l'analyse élémentaire donne de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote, du carbone et du fer. Par un traitement chimique approprié, Frémy a pu séparer la chlorophylle en deux substances : l'une jaune, la *phylloxanthine*, et l'autre bleue, la *phyllocyanine*.

La chlorophylle naît spontanément dans le protoplasme cellulaire. Il se forme d'abord des grains incolores ou jaunes, qui verdissent ensuite, si la cellule où ils sont contenus reste exposée à la lumière. Les grains chlorophylliens nés dans l'obscurité restent jaunes, mais sous l'action d'une lumière même faible et d'une température assez élevée, de 20 à 30 degrés, ils verdissent. Tous les rayons du spectre solaire suffisent à verdir les grains chlorophylliens étiolés, mais ceux qui sont de beaucoup les plus actifs sont les rayons jaunes.

Une fois formés, les grains chlorophylliens, s'ils sont

dans de bonnes conditions, grossissent et, à un moment donné, peuvent se multiplier par division binaire. La lumière solaire n'influe pas seulement sur la formation des grains chlorophylliens, c'est toute leur évolution qui lui est soumise. Les grains, verdis et soumis à une lumière intense pendant un long espace de temps, forment dans leur substance même des grains d'amidon, qui sont là, bien manifestement, le résultat d'une nutrition trop active, un aliment en réserve. Cet amidon, d'ailleurs, se redissout et se reforme, suivant que la cellule verte est soustraite ou exposée de nouveau à la lumière solaire. Par un très-long séjour à l'obscurité, les grains de chlorophylle eux-mêmes se déforment, s'atrophient et disparaissent, en se dissolvant dans le protoplasme incolore.

Nous avons vu que tous les rayons du spectre solaire peuvent suffire à verdir la chlorophylle, mais tous ne sont pas capables de lui imprimer assez d'activité nutritive pour former l'amidon dans ses grains. C'est là une faculté réservée naturellement aux rayons les plus excitants, aux rayons jaunes.

La lumière étant l'agent déterminant de la formation chlorophyllienne, il est naturel que les grains chlorophylliens s'accumulent surtout sur la paroi cellulaire la plus éclairée; c'est, en effet, ce qui a lieu (1).

Dans les feuilles persistantes, la chaleur paraît aussi avoir une grande influence sur la position des grains de chlorophylle; en effet, quand la température baisse, ils quittent la paroi pour s'accumuler en pelote au centre de la cellule. Au printemps ou bien quand la plante est soumise à une certaine élévation de température, aussi bien dans l'obscurité qu'à la lumière, ils reprennent leur position pariétale.

(1) Franck, *Botanische Zeitung*. 1872.

Enfin, vers la fin de la période végétative, la précieuse substance chlorophyllienne échappe en grande partie à la destruction dans les plantes vivaces. Elle se redissout avec l'amidon qu'elle englobe, et le tout, passant par le pétiole, en entraînant même l'acide phosphorique et la potasse, émigre vers les organes permanents de la plante (1).

Avant de parler des propriétés spéciales de la chlorophylle, il est opportun de signaler l'importance de l'élément métallique qu'elle contient. Les atomes de fer, qui entrent dans sa composition, en font, en effet, partie intégrante; sans eux, elle n'est plus douée de ses propriétés spéciales. Un autre métal, le potassium, quoique ne figurant pas dans la molécule complexe de la chlorophylle, semble jouer un rôle important dans sa nutrition. Quand la plante n'absorbe pas de chlorure de potassium ou au moins du nitrate de potasse, les grains de chlorophylle ont une vitalité moindre et sont incapables de former de l'amidon.

Nous avons succinctement décrit l'évolution morphologique de la chlorophylle. Il nous reste maintenant à parler de sa fonction.

Priestley le premier observa que les parties vertes des plantes exhalaient de l'oxygène. Il mit sous une cloche, dans de l'air confiné où des souris étaient mortes asphyxiées, des pieds de menthe, qui y vécurent et prospérèrent énergiquement. Dès lors la propriété chlorophyllienne était découverte, mais ce fut seulement Ingenhouz qui rapporta le dégagement d'air vital opéré par les plantes à sa vraie cause, à l'action de la lumière (2). Le même observateur constata aussi l'action inverse des fleurs et des racines, qui, nuit et jour, exhalent de l'acide carbonique et vicient l'atmosphère.

(1) J. Sachs, *Traité de botanique*.
(2) Ingenhouz, *Expériences sur les végétaux*. 1780.

Toute plante terrestre ou aquatique, pourvue de cellules à chlorophylle et exposée à la lumière solaire, emprunte à l'air de l'acide carbonique et lui restitue un volume équivalent d'oxygène.

Pour la plupart des végétaux, l'activité du phénomène est proportionnelle à l'intensité de la lumière. Quoique la fonction chlorophyllienne ait besoin chez presque toutes les plantes de la pleine lumière, pourtant elle s'exerce encore, mais faiblement à la lumière diffuse, et il est même des plantes, par exemple, les mousses vivant à l'ombre des bois, qui ne peuvent, sans mourir, supporter une lumière intense. Mais, à des degrés divers, la lumière est indispensable aux parties vertes de toutes les plantes. La nuit ou dans l'obscurité, la chlorophylle cesse d'agir, et le végétal exhale simplement de l'acide carbonique.

La propriété de décomposer l'acide carbonique de l'air et d'en absorber le carbone est spéciale à la chlorophylle, comme celle de fixer une grande quantité d'oxygène est spéciale à l'hémoglobuline des hématies. La chlorophylle a aussi ses poisons comme l'hémoglobuline. Ainsi, comme l'a démontré Boussingault, du mercure introduit dans une cloche, où se trouve un végétal, détruit la propriété chlorophyllienne.

Il semble résulter des expériences de Dutrochet (1), qu'une partie de l'oxygène mis en liberté par l'action chlorophyllienne, n'est pas expulsée immédiatement, mais pénètre avant tout dans la trame des tissus. L'oxygène directement exhalé ne serait qu'un excédant. Le reste serait refoulé dans les cavités aériennes, les vaisseaux globuleux, les tubes ponctués, surtout dans les trachées. Par cette voie, il descendrait dans les pétioles des feuilles, dans la tige, et là servirait vraisemblablement à la véri-

(1) Dutrochet, *loc. cit.*, p. 357.

table fonction respiratoire, à l'oxydation des tissus et à la production de l'acide carbonique dégagé par la plante.

C'est par les stomates que semble s'opérer surtout cette expulsion et cette absorption d'air ; pourtant les mousses et les conferves, qui n'ont pas de stomates, exhalent de l'acide carbonique.

On serait étonné que la petite proportion d'acide carbonique contenue dans l'air pût suffire à l'alimentation en carbone de tout le règne végétal, si l'on ne songeait à la grande épaisseur de l'atmosphère et aux restitutions considérables, qui lui sont faites par le règne végétal pour une part, par le règne animal tout entier d'autre part. Ce dernier, en effet, consomme incessamment de l'oxygène et exhale des torrents d'acide carbonique ; enfin il faut ajouter à ces sources principales d'acide carbonique toutes les combustions, les exhalaisons volcaniques, etc. Du reste, en calculant d'après la hauteur présumée de notre atmosphère et la proportion de quatre dix-millièmes d'acide carbonique pour un volume donné d'air, on arrive à évaluer la quantité de carbone existant dans le milieu aérien au chiffre énorme de 1 500 billions de kilogrammes.

Il est d'ailleurs vraisemblable que l'air n'est pas la seule source de l'acide carbonique absorbé par le végétal. Il s'en produit sûrement dans la trame des tissus par l'oxydation de la séve et des éléments anatomiques, et il n'y a pas de raison pour qu'il ne subisse pas aussi l'action décomposante de la chlorophylle.

Comme l'acide carbonique est, à la lumière, incessamment décomposé par la chlorophylle, il en résulte une sorte de vide carbonique dans les portions d'air en contact avec les cellules vertes et, par suite, il arrive de proche en proche, par diffusion, de nouvelles quantités d'acide. L'alimentation en carbone ne manque donc jamais.

Quoique la décomposition de l'acide s'effectue dans

toutes les cellules vertes, pourtant la face supérieure des feuilles paraît jouer un rôle dominant dans l'acte chlorophyllien; car, si l'on retourne les feuilles de façon à exposer au soleil leur face inférieure, l'absorption carbonique diminue et cesse en quelques jours (1).

Quoi qu'il en soit, l'exhalation d'acide carbonique, peu sensible pendant le jour et relativement active pendant la nuit, est loin de compenser l'absorption. M. Boussingault a calculé qu'en douze heures de nuit, 1 décimètre carré de surface verte brûle $0^{g},214$ du carbone des tissus, tandis qu'en douze heures de jour il en assimile $3^{g},416$.

Si l'on ne laisse parvenir la lumière aux végétaux qu'en la tamisant à travers des verres colorés des couleurs du prisme, on voit que tous les rayons visibles peuvent mettre en activité la chlorophylle, mais que les rayons capables de provoquer son apparition dans le protoplasme sont aussi ceux qui la surexcitent davantage. Ce sont, en effet, les rayons jaunes, qui déterminent le plus abondant dégagement d'acide carbonique.

Si l'on note l'amplitude ondulatoire des rayons lumineux, propres à faire fonctionner la chlorophylle, on voit que ces rayons actifs ont pour limite supérieure $0^{m},0006886$ et pour limite inférieure $0^{m},00039968$. Ce sont des rayons faiblement réfrangibles (2).

Les rayons plus fortement réfrangibles, les bleus et violets, ainsi que les rayons ultra-violets invisibles, influent surtout sur la vitesse de l'accroissement; les mouvements du protoplasme et des zoospores, etc.

Nous avons, tout à l'heure, comparé en passant la chlorophylle à l'hématoglobuline du sang. Le parallèle est assez curieux pour qu'on puisse y consacrer quelques lignes :

La chlorophylle et l'hématoglobuline sont toutes deux

(1) Dutrochet, *loc. cit.*, p. 355.
(2) J. Sachs, *loc. cit.*, p. 878.

des substances quaternaires. Toutes deux exercent une action élective sur un gaz minéral.

Toutes deux sont habituellement modelées en globules sans noyau.

La propriété spéciale qui les caractérise paraît pourtant, chez l'une et l'autre, indépendante de la forme qu'elles revêtent. Nous avons vu qu'une solution d'hématoglobuline absorbait l'oxygène et que la chlorophylle amorphe, dissoute dans le protoplasme cellulaire de certains végétaux, n'en continuait pas moins à absorber des molécules de carbone.

La chlorophylle et l'hématoglobuline semblent également ne former avec l'élément minéral, dont elles sont spécialement avides, qu'une association tout à fait temporaire. En effet, les globules sanguins cèdent aux éléments anatomiques des animaux leur provision d'oxygène presque aussitôt qu'ils l'ont prise, et, en retour, ils se chargent avidement d'acide carbonique, se rapprochant ainsi des globules chlorophylliens par ce côté de leur physiologie.

La chlorophylle, tout en absorbant, comme toute substance vivante, la quantité d'oxygène nécessaire à son mouvement nutritif, ne semble pas avoir pour ce gaz une grande affinité; il est vraisemblable que, la nuit, elle cesse purement et simplement d'exercer son action spéciale, sans en assumer une autre; mais il est sûr qu'elle ne fixe que pour un moment dans sa molécule le carbone ravi à l'acide carbonique. Puisque ce carbone ne s'accumule pas dans les tissus chlorophylliens; puisque la composition de la chlorophylle est toujours sensiblement la même, il faut bien que les molécules de charbon assimilées par elle soient sur-le-champ cédées au liquide séveux, où elles apportent l'appoint nécessaire à la formation des substances complexes, ternaires et quaternaires. Où d'ailleurs les tissus

prendraient-ils le carbone qui constitue la moitié de leur poids, s'ils n'avaient, pour s'approvisionner, ce perpétuel apport ? Nous aurons à dire quelques mots de cette chimie vivante. Occupons-nous, pour le moment, de la fonction végétale, en tout comparable à ce qu'on appelle *respiration* chez les animaux, c'est-à-dire de l'absorption d'oxygène.

III. *Absorption d'oxygène ou respiration végétale.*

Une plante verte phanérogame s'asphyxie dans un milieu d'hydrogène, d'azote ou même d'acide carbonique, et, si son séjour dans cette atmosphère artificielle est trop prolongé, elle perd à jamais la propriété chlorophyllienne (1).

D'autre part, M. de Saussure avait déjà remarqué, en extrayant à l'aide d'une machine pneumatique l'air imprégnant les tissus des plantes, que cet air contenait notablement moins d'oxygène que l'atmosphère ambiante. La proportion est assez variable ; celle trouvée par Saussure était de 85 d'azote et de 15 d'oxygène (2). Enfin l'on sait depuis longtemps que le jour, à l'obscurité, et par conséquent durant la nuit, les plantes dégagent de l'acide carbonique. Ingenhouz avait déjà observé que ce dégagement de gaz carbonique était constamment opéré par les fleurs et les racines. Enfin, de nos jours, Boussingault, Garreau, Sachs ont pu constater que cette exhalation est un fait constant et général, qu'elle s'effectue même par les feuilles exposées au soleil. C'est qu'en effet il s'agit là d'un acte indispensable à tout ce qui vit. Sans ce continuel travail d'oxydation lente, les substances organisées ne pourraient accomplir leurs métamorphoses, opérer les

(1) Boussingault, *Annales de chimie et de physique*. IVe série, 1868, t. XIII.

(2) Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*. 1804.

échanges de matière, qui constituent l'acte fondamental de la vie.

Comme le disait déjà Dutrochet, à ce propos, « la vie est une. Les différences ne sont pas fondamentales, et, quand on poursuit les phénomènes jusqu'à leur origine, elles disparaissent (1). »

Cette absorption d'oxygène, corrélative à un dégagement d'acide carbonique, est l'acte dit *respiratoire* chez les animaux et on peut lui donner le même nom chez les plantes, puisque le fait essentiel est identique dans les deux règnes. Animal et plante absorbent de l'oxygène aérien ; animal et plante brûlent leurs matières grasses et amylacées en produisant de la chaleur, de l'eau et de l'acide carbonique. On retrouve même, dans les cellules végétales, une substance analogue au résidu principal de la combustion des albuminoïdes chez les animaux, à l'urée : c'est l'*asparagine*, principe immédiat azoté et cristalloïde.

La propriété respiratoire est essentielle à la vie ; elle est indispensable, même aux cellules chlorophylliennes, qui deviennent incapables de réduire l'acide carbonique, alors qu'elles manquent d'oxygène, et c'est pourquoi elles s'asphyxient dans une atmosphère d'acide carbonique pur.

Tout élément vivant a soif d'oxygène, à ce point que parfois certains organismes l'arrachent même à des composés chimiques stables.

Des vibrioniens étudiés par M. Pasteur décomposent le tartrate de chaux et transforment l'acide lactique en acide butyrique pour se procurer de l'oxygène. C'est d'ailleurs par un procédé analogue que, chez la plupart des vertébrés, les éléments anatomiques désoxydent l'hématoglobuline des hématies.

(1) Dutrochet, *loc. cit.*, 326.

Chez la plante, l'oxygène se combine en totalité avec le carbone du tissu; car, dans de l'oxygène pur, il y a équivalence parfaite.

Les recherches modernes les plus exactes ont montré que l'accroissement végétal s'opérait seulement grâce à l'absorption d'oxygène par les tissus des plantes et que cette absorption était proportionnelle à l'accroissement. Il est, par exemple, très-considérable dans la germination. Ainsi graines et bourgeons absorbent, en évoluant, plusieurs fois leur poids d'oxygène. Il en est de même des fleurs. Les fleurs, comme toutes les parties non vertes des végétaux, absorbent manifestement de l'oxygène; mais elles en absorbent en grande quantité, et, chose curieuse, dans les plantes monoïques les fleurs mâles absorbent plus d'oxygène que les fleurs femelles. Un fait à noter, c'est que, dans toutes les combinaisons organiques végétales, l'oxygène est toujours en proportion plus faible qu'il ne le faudrait pour la combustion complète de leur carbone et de leur hydrogène, pour leur transformation totale en eau et en acide carbonique; ce qui est d'ailleurs tout à fait d'accord avec la théorie de la respiration.

On sait qu'un des effets constants de l'oxydation est une certaine production de chaleur, et que l'oxydation des tissus est la source principale de la chaleur animale. Pour être moins active, l'oxydation végétale n'en produit pas moins des effets calorifiques sensibles, spécialement dans la germination et la floraison. Des grains d'orge entassés pour la préparation du malt s'échauffent beaucoup. Dans le spadice des aroïdées, au temps de la fécondation, l'excès de température sur le milieu extérieur peut être de 10 à 12 degrés. Le même fait s'observe, mais à un moindre degré, dans les fleurs isolées des *Cucurbita*, *Bignonia radicans*, *Victoria regia*, etc. (1).

(1) J. Sachs, *loc. cit.*, p. 847.

D'autre part, l'oxydation respiratoire et le mouvement nutritif ou assimilateur qui en résulte ne s'effectuent qu'entre certaines limites de température. Le minimum est variable suivant les espèces. D'après M. Boussingault (1), les feuilles du mélèze décomposent déjà l'acide carbonique de 0°,5 à 2°,5 ; celles des herbes des prairies, entre 1°,5 et 3°,5. D'après MM. Cloetz et Gratiolet, l'assimilation carbonique commence au-dessus de 6 degrés dans les *Vallisneria*, entre 10 et 15 degrés dans le *Potamogeton*.

Cette absorption d'oxygène n'est nullement comparable à celle qui se produit après la mort du végétal, et qui a pour résultat la minéralisation de plus en plus complète des tissus organisés, privés de vie. Dans ce dernier cas, il se produit des combinaisons chimiques spéciales : d'abord un composé ternaire, l'ulmine ($C^{40}H^{16}O^{14}$), qui se transforme en une série de produits dérivés, de plus en plus oxygénés (acide ulmique, humine, acides humiques, etc.). Ceux de ces produits qui sont acides s'unissent à l'ammoniaque formée aussi pendant la décomposition cadavérique de la plante ; ils constituent alors des sels solubles, qui peuvent être réabsorbés par les racines, et rentrer ainsi dans le mouvement vital.

Pour terminer la description abrégée de la respiration végétale, il nous reste à indiquer par quelles voies l'air s'introduit dans la trame des tissus végétaux.

Chez les plantes inférieures, les mousses et les conferves, il n'y a nulle circulation aérienne, nul appareil spécial. L'oxygène est absorbé directement par les cellules. Chez les végétaux complexes, ayant de vraies racines, de vraies feuilles aériennes, des canaux, il y a un commencement de spécialisation fonctionnelle. L'air est alors ab-

(1) Boussingault, *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, LXVIII.

sorbé un peu par l'écorce, mais surtout par les feuilles. Th. de Saussure, en analysant l'air interstitiel des plantes, a trouvé que l'air le moins altéré, le moins pauvre en oxygène, est celui des feuilles; celui des tiges est moins oxygéné et celui des racines moins encore.

L'air pénètre vraisemblablement dans la plante phanérogame par les stomates de la face inférieure des feuilles. Ainsi, si l'on plonge des feuilles dans l'eau et si on les soumet à l'action de la pompe pneumatique, on voit l'air s'échapper régulièrement en bulles par la section des vaisseaux du pétiole (Dutrochet). Une fois introduit par les stomates, l'air circule dans les lacunes, les méats intercellulaires, surtout dans les trachées et les tubes ponctués larges, quand le premier afflux séveux du printemps les a abandonnés.

Dans les feuilles aquatiques, dépourvues d'épiderme et de stomates, l'eau aérée agit directement sur les cellules à parois minces du parenchyme. Quand il y a des stomates, les choses se passent comme à l'air libre.

Dans le végétal complexe, l'air est donc soumis à une sorte de circulation, que Dutrochet compare justement à la circulation aérienne dans les trachées des insectes, qui, elles aussi, sont munies de stomates. Une fois introduit dans les tissus végétaux, l'air est absorbé par les éléments anatomiques et par la séve ou les blastèmes qu'il contribue à élaborer. Enfin il est vraisemblable qu'une partie de l'oxygène résultant de la réduction de l'acide carbonique par les parties vertes et qui est, par conséquent, à l'état naissant, c'est-à-dire avide d'entrer dans des combinaisons nouvelles, est aussi absorbée sur place, ou même mécaniquement chassée dans les canaux et interstices cellulaires.

IV. *Séve élaborée ou descendante.*

L'eau du sol, plus ou moins chargée de substances en dissolution, pénètre par endosmose dans les cellules des spongioles, et de là est chassée dans les vaisseaux, les méats, les éléments anatomiques, de proche en proche. Enfin elle est, en quelque sorte, aspirée par l'ensemble des tissus, qui, tous, ont besoin de se nourrir, et plus spécialement par les feuilles et les parties vertes. Ces tissus à chlorophylle sont des organes exhalants et assimilateurs spéciaux, dans le sein desquels la séve subit une très-importante élaboration, et passe en quelque sorte à l'état de vrai blastème. Jusqu'alors, en effet, le liquide séveux n'était guère qu'une simple solution minérale. Dans les feuilles, la séve se vitalise; elle devient un liquide organisable. C'est seulement après cette métamorphose de la séve que de nouveaux éléments anatomiques peuvent se former à ses dépens, que l'organisme végétal grossit et grandit. Cette séve ainsi modifiée a été appelée *séve descendante*, parce qu'en effet son cours ordinaire va des feuilles aux racines. Il est intéressant de suivre le flot de cette séve élaborée, de voir comment il passe et se distribue des feuilles au reste du végétal.

Force nous est encore ici d'invoquer l'effet de l'endosmose, qui joue d'ailleurs un rôle si capital dans toute la mécanique nutritive de la plante. Outre leur fonction chlorophyllienne spéciale et peut-être par suite de cette fonction, les feuilles exercent sur la séve une double propulsion; elles l'aspirent de bas en haut et la refoulent, après l'élaboration, de haut en bas. C'est bien une sorte de circulation, mais grossière, sans régularité, s'effectuant par à peu près, tantôt par une voie, tantôt par une autre. Les cellules des feuilles, dont le contenu est dense et albuminoïde, sont bien disposées pour absorber par endos-

mose la séve lymphatique montante, pour y déterminer, quand elle a pénétré dans leur cavité, des phénomènes chimiques synthétiques, pour la carboniser, c'est-à-dire l'enrichir d'atomes de carbone, grâce à leur propriété spéciale, puis enfin pour l'expulser par exosmose. En même temps elles la concentrent, en la privant d'une notable partie de son véhicule aqueux, qui s'exosmose et s'échappe par évaporation.

L'expérience a démontré que cette exhalation est un phénomène actif, le résultat d'un acte vital, probablement chlorophyllien, et point une évaporation passive. Les faits probants sont nombreux. Hales, le premier, découvrit que la lumière augmente l'exhalation aqueuse à la surface des feuilles. Le phénomène dépend de la lumière solaire et fort peu de la chaleur; car la simple lumière diffuse, fort peu calorifique, suffit, tandis qu'à l'ombre, une chaleur égale et même très-supérieure agit fort peu, et que, la nuit, l'exhalation aqueuse s'arrête.

Si, de deux plantes semblables, l'une est exposée à la lumière et l'autre maintenue dans l'obscurité, la première absorbe beaucoup plus d'eau que la seconde.

Sennebier a montré que des rameaux feuillus, trempés dans l'eau par leur extrémité inférieure, aspirent beaucoup plus d'eau à la lumière que dans l'obscurité. Il a vu aussi que la chaleur obscure influait peu sur cette sorte de succion, et que les résultats variaient suivant l'espèce des plantes. En général les plantes qui, à la lumière, résistent le plus à l'action desséchante de l'atmosphère sont celles qui, à l'obscurité, y résistent le moins et réciproquement. Le contact intime de l'air avec les cellules des feuilles est nécessaire à cette aspiration aqueuse, comme le prouve le fait suivant :

Dutrochet, ayant plongé dans de l'eau une tige feuillue de *pisum sativum*, la priva de son air interstitiel à l'aide

d'une pompe pneumatique. Les cavités aériennes, une fois purgées d'air, furent promptement envahies par l'eau. La plante fut alors retirée de l'eau, et l'extrémité de sa tige y fut seulement maintenue. Elle fut, dans cet état, exposée à la lumière diffuse, mais elle était devenue incapable d'aspirer de l'eau et elle s'asphyxiait, ou plutôt elle était incapable d'aspiration aqueuse, parce qu'elle était asphyxiée. Des faits précédents, il résulte clairement que l'ascension de la séve est liée dans une certaine mesure au fonctionnement des feuilles, et que ce fonctionnement, en y comprenant la simple exhalation aqueuse, est subordonné, comme tout acte physiologique, à l'absorption d'oxygène par les éléments anatomiques, à la respiration.

Il faut noter un fait, dont l'explication est d'ailleurs facile, c'est que l'absence de la lumière n'a pas sur les corolles non vertes l'action qu'elle exerce sur les feuilles chlorophylliennes. Comme ces corólles respirent simplement à la manière des éléments anatomiques animaux, en absorbant l'oxygène et sans agir sur l'acide carbonique, l'absence de lumière ne les empêche pas de vivre, d'aspirer la séve, etc.

Une fois élaborée et concentrée par l'action spéciale des feuilles, la séve sort des cellules par exosmose, et, de même que l'action endosmotique des spongioles radicales a chassé la séve lymphatique de bas en haut vers les branches et les bourgeons, l'impulsion exosmotique refoule la séve élaborée de haut en bas, des feuilles vers les racines. Nous avons vu que l'ascension se faisait surtout par le centre ligneux, ou au moins par sa partie la plus jeune, périphérique; la descente de la séve se fait au contraire le plus habituellement par l'écorce. En montant, elle s'était enrichie de plus en plus, soit en entraînant les substances renfermées dans les cellules qu'elle baignait au passage, soit par l'action spéciale des feuilles

vertes (1); en descendant, elle s'appauvrit, au contraire, de plus en plus, car, chemin faisant, ou bien elle abandonne des substances organisables, aux dépens desquelles se forment des éléments anatomiques, ou bien elle dépose simplement dans des cavités toutes préparées des amas de matières nutrimentaires ou organisables.

Nous venons de décrire, en quelque sorte, le mode schématique de la circulation séveuse. En fait, il y a nombre d'irrégularités et la séve subit dans son cours diverses impulsions, diverses dérivations. L'impulsion exosmotique n'est pas la seule cause de propulsion descendante. Il faut aussi invoquer, comme pour la séve ascendante, le vide relatif fait par la fixation d'une partie duliquide, par la nutrition et la formation des tissus, puis des influences mécaniques. Par exemple, on a remarqué que l'agitation des tiges par le vent favorisait l'accroissement des plantes. Knight a fait à ce sujet des expériences précises, en immobilisant certaines tiges. On pense avec raison que le balancement, la flexion des tiges ont pour résultat des pressions locales, qui aident le cheminement de la séve dans les canaux. Ce cheminement descendant de la séve élaborée doit être plus lent que celui de la séve aqueuse; car il s'agit cette fois d'un liquide plus dense, plus visqueux, différencié même parfois. En effet, il y a sûrement diverses espèces de séve; car il faut considérer comme tel, le liquide laiteux, appelé *latex*, existant en si grande abondance dans le système cortical de la laitue,

(1) Knight recueillit au printemps, à diverses hauteurs, de la séve de sycomore et de bouleau. Voici les variations de la pesanteur spécifique qu'il observa sur le sycomore :

Niveau du sol	1 004
A 7 pieds	1 008
A 12 pieds	1 102

Dans le dernier cas, la séve avait en outre une saveur sucrée.

du figuier, des euphorbes, etc. La gomme des arbres du genre Pinnus, etc., la résine des conifères sont bien aussi vraisemblablement des résidus séveux.

La séve peut descendre par l'aubier ou par le tissu ligneux du système central. Knight, ayant décortiqué circulairement une tige de *solanum tuberosum*, a vu les tubercules souterrains se développer moins, mais pourtant se développer encore; or la séve n'avait pu dans ce cas descendre par l'écorce.

Le même observateur a démontré que la séve élaborée peut prendre un mouvement ascendant, quand elle est dissoute et entraînée par la séve lymphatique (1).

D'autre part, la séve lymphatique peut prendre un mouvement descendant, par exemple quand elle se forme dans les feuilles absorbant l'eau qui les mouille. Quand on coupe la tige d'une plante contenant beaucoup de liquides, par exemple d'une plante laiteuse, on voit le latex couler par les deux surfaces de section. Il y a alors un simple mouvement séveux, déterminé par la pression élastique des canaux primitivement distendus, turgides par le jeu de l'endosmose. En résumé la séve, élaborée ou non, passe par où elle peut, se distribue où elle peut. Dutrochet, ayant coupé pendant l'hiver une racine mise à nu au-dessous d'un rejeton qu'elle avait produit, vit, au printemps suivant, ce rejeton continuer à vivre. Le développement des feuilles n'avait pas encore eu lieu, et, par conséquent, le rejeton vivait sans séve élaborée, par le seul secours de la séve lymphatique, refoulée cette fois de haut en bas. Knight ayant coupé sur une variété hâtive de *solanum tuberosum* les coureurs (runners), qui produisent les tubercules, il se produisit dans la tige une pléthore de séve élaborée. La plante, qui d'ordinaire ne

(1) Knight, *Philosophical Transactions*, 1805.

fleurit pas, eut des fleurs, des fruits, et il se développa même des petits tubercules sur plusieurs des parties aériennes de la plante.

Si, au printemps, l'on coupe une racine de vigne, on voit la séve lymphatique couler du tronçon supérieur ou central, comme d'une tige aérienne.

Dutrochet a observé qu'un tronc d'arbre, abattu pendant l'hiver et complétement dépouillé de ses branches, présente néanmoins au printemps l'épanchement de séve élaborée au-dessous de son écorce. Cette séve existait donc dans la partie centrale du tissu végétal, puisqu'elle ne provient ni des feuilles, ni des racines. Elle était toute préparée et a dû gagner la périphérie par le moyen des rayons médullaires transversaux.

C'est vraisemblablement parce que les végétaux monocotylédonés n'ont pas de ces rayons médullaires transversaux, qu'il n'y a pas chez eux d'épanchement séveux entre le système cortical et le système central, et, par conséquent, point d'accroissement au point de jonction de ces deux systèmes (1).

En résumé, il n'y a point de vraie circulation séveuse, puisque le cours du liquide nourricier est à la merci de nombre d'accidents. Il y a seulement deux sources principales de la séve : les spongioles des racines, qui introduisent dans le végétal la séve aqueuse ou lymphatique, et les feuilles, qui élaborent cette séve déjà épaissie et enrichie, pour la pousser ensuite d'une manière générale vers la partie inférieure du végétal, par toutes les voies qui sont praticables.

(1) Dutrochet, *loc. cit.*, p. 387.

V. *Algues et champignons.*

Nous venons de faire le tableau succinct ou plutôt l'énumération des différentes phases de la nutrition, chez une plante complexe, ayant racines, tiges et feuilles. Naturellement les choses se passent différemment chez les végétaux inférieurs, composés presque uniquement de tissus cellulaires, chez ce qu'on appelle aujourd'hui les *Thallophytes,* chez les algues et les champignons.

Ici il n'y a ni vrais vaisseaux, ni vraies racines. Les aliments sont absorbés par les cellules qui sont en contact avec eux, et transmis par endosmose de proche en proche.

Pourtant les algues se rattachent encore aux végétaux supérieurs par la présence de la chlorophylle, même chez les algues colorées, où elle est masquée par des matières colorantes (nostochinées, etc.). La chlorophylle agit là comme partout; elle absorbe et assimile du carbone et ne fonctionne qu'à la lumière.

Chez beaucoup de thallophytes, la cellule élémentaire a pris la forme allongée d'un filament, simple chez certaines algues intermédiaires (phycomycetes), divisé transversalement par des cloisons chez les autres, et parfois ramifié (mucédinées).

La caractéristique nutritive des champignons est l'absence de chlorophylle. Par ce fait, les champignons se rapprochent des organismes animaux. Ils sont incapables d'assimiler directement le carbone aérien et n'ont pas besoin de lumière. On en voit même vivre sous le sol, comme les truffes, etc. De l'absence de chlorophylle résulte aussi que les champignons, comme les animaux, ont besoin d'aliments tout préparés, de combinaisons carbonées, assimilées par d'autres organes; aussi, quand ils ne sont

pas parasites, il leur faut vivre aux dépens de matières organiques en voie de décomposition.

En outre, et ceci est un caractère général, ils sont incapables de former un seul granule d'amidon. Ce fait explique dans une certaine mesure le rôle de la chlorophylle dans la chimie synthétique de l'organisme végétal, et nous sert de transition pour passer au chapitre suivant.

CHAPITRE III

ASSIMILATION ET DÉSASSIMILATION VÉGÉTALES

I. *Substances organiques.*

Avant de parler des transformations chimiques, dont l'organisme végétal est le siége et l'agent, il ne sera pas inutile d'énumérer les divers corps qui pénètrent du milieu ambiant dans la plante vivante.

Nous avons vu les racines, et parfois les feuilles, absorber de l'eau, dont la plante a un impérieux besoin. Nous savons que l'eau absorbée par les racines est chargée de substances en dissolution. Parmi ces substances, il y en a de terreuses, et nous les passerons en revue à un autre moment de cette exposition (sels de chaux, de soude, de potasse, d'ammoniaque, etc.). C'est encore par la voie des racines, que pénètre dans la plante la plus grande partie de l'azote qui lui est nécessaire. Cet azote s'introduit dans la plante sous forme de sels ammoniacaux, et surtout d'une série de substances dérivant de l'oxydation lente des détritus organiques. Le type de ces substances est un composé de $C^{40}H^{16}O^{14}$, l'*ulmine,* qui, suivant Mülder, se transforme par une suroxygénation graduelle en acide ulmique, humine, acides humique, géique, etc. Les acides de cette série sont avides d'ammoniaque et composent avec elle des sels solubles. Ils forment aussi des sels alcalins solubles et des sels terreux, qui seraient insolubles si l'ammoniaque ne s'y agrégeait en sels doubles. Suivant Mülder, l'eau concourrait à ces formations en se décomposant pour oxyder ces matières, et une partie de son hydrogène se combinerait en ammoniaque avec

l'azote de l'air. Des plantes élevées dans de l'acide ulmique et de la poudre de charbon entièrement dépouillés d'ammoniaque, renfermées dans une atmosphère et arrosées avec une eau qui n'en contenait pas non plus, ont donné à l'analyse une quantité d'azote double ou triple de celle que renfermait leur graine au début de l'expérience. Dans ce cas, la plante étant privée d'ammoniaque, il est très-possible qu'elle ait absorbé directement l'azote de l'air. C'est là une éventualité que les faits suivants rendent fort probable :

Schrœder sema des céréales dans de la fleur de soufre arrosée d'eau distillée, et contenue dans des vases de verre ou de porcelaine recouverts d'une cloche. Les grains germèrent et donnèrent des chaumes de 12 à 14 pouces portant des épis courts, mais qui fleurirent. Desséchés, ils pesèrent cinq fois plus que les grains d'où ils provenaient.

Boussingault sema vingt-neuf grains de trèfle dans du sable, préalablement rougi au feu. Les plantes qui en provinrent pesaient 67 grains au bout de trois mois. (*Annales de chimie,* t. LXXVII.)

Des pois traités de même donnèrent dans le même laps de temps des plantes pesant 72 grains, chargées de fleurs et de graines parfaites, etc. (Cité par Burdach, *Traité de physiologie,* t. IX, p. 255.) Enfin de récentes expériences de M. G. Ville mettent à peu près hors de doute, comme nous le verrons plus loin, l'absorption normale de l'azote atmosphérique par la plante.

Si les éléments anatomiques des végétaux opèrent beaucoup de synthèses chimiques, ils sont aussi très-capables de désagréger des composés minéraux. Nous savons que la chlorophylle décompose l'acide carbonique de l'air. On a vu aussi des graines, germant dans l'eau, la décomposer et absorber une partie de son hydrogène.

L'oxygène contenu dans la plante vient pour une large part du milieu aérien; pour une notable partie, de la décomposition de l'acide carbonique par la chlorophylle. La plante s'en procure encore d'une autre manière. En général, comme nous l'avons vu, les substances nutritives absorbées par les racines sont des composés oxygénés très-riches; au contraire les substances assimilées, formant en très-grande partie la matière sèche des plantes sont pauvres en oxygène ou n'en contiennent point. Il faut donc que l'assimilation soit surtout un acte de désoxygénation; or, nous le savons, elle s'effectue particulièrement dans les cellules chlorophylliennes. On a donc là, comme le dit justement Sachs, le lieu, les conditions et le temps de cette désoxygénation (1).

C'est, en effet, dans les cellules chlorophylliennes, que s'accomplit surtout l'assimilation ou plutôt la vitalisation des diverses substances introduites dans la plante. C'est vers ce laboratoire vivant et actif, qu'elles convergent; c'est là qu'elles entrent en conflit les unes avec les autres. La cellule chlorophyllienne est un puissant appareil de synthèse, effectuant des combinaisons organiques, qui défient encore le pouvoir de la chimie contemporaine. Les molécules d'azote, de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, etc., pénètrent dans la cavité cellulaire, les unes libres, les autres engagées dans des combinaisons plus ou moins complexes. Là elles sont brassées ensemble, entraînées dans le courant circulaire du protoplasme cellulaire, soumises aux attractions exercées sur elles par la chlorophylle, et, d'autre part, ébranlées par les ondulations des rayons jaunes de la lumière solaire, qui ajoutent leur impulsion aux vibrations dont elles sont déjà animées. Les atomes et les molécules cèdent à ces influences réunies; celles

(1) J. Sachs, *loc. cit.*, p. 821.

de ces particules qui sont engagées dans des combinaisons, les abandonnent, reprennent leur liberté, et toutes s'unissent pour former des substances organiques vivantes, des substances ternaires et quaternaires.

Nous avons déjà dit quelques mots de l'apparition de l'une de ces substances, d'une des plus importantes dans la physiologie végétale, de l'amidon. L'amidon se forme surtout dans les cellules vertes, et même dans l'intérieur des corps chlorophylliens. Nous avons vu que sa formation est directement sous la dépendance du fonctionnement chimique de la chlorophylle, par conséquent de la lumière. Il apparaît sous l'influence de la lumière et se redissout sans elle. Nous prenons là en quelque sorte la synthèse chimique sur le fait.

Sûrement les substances protéiques se forment aussi dans la cellule chlorophyllienne. Sans doute ici le phénomène est moins évident; mais nous savons que la séve arrive aux feuilles à l'état de fluide encore peu chargé, et qu'elle en sort à l'état de liquide vivant, assimilable et organisable, à l'état de nutriment et de blastème.

Nous avons dit tout à l'heure que la synthèse chimique, opérée par la cellule à chlorophylle, avait vraisemblablement pour résultat une soustraction, un dégagement d'oxygène; mais il est des composés organiques qui résultent au contraire d'une suroxydation; ce sont les acides végétaux. Leur molécule renferme plus d'oxygène et d'hydrogène qu'il n'en faut pour former de l'eau. L'acide oxalique, un des plus fréquents, contient trois atomes d'oxygène pour deux de carbone (C^2O^3). Dans les laboratoires, on l'obtient en oxydant du sucre et de la fécule par l'acide azotique. Dans le végétal, il est probablement produit par une action directe de l'oxygène sur les mêmes substances. L'acide oxalique, en effet, ainsi que les

acides ternaires, acétique, citrique, malique, etc., ne se forme pas dans le laboratoire synthétique des cellules chlorophylliennes, mais dans les parties non vertes ou qui sont à l'abri de la lumière.

Les substances organiques végétales sont naturellement sujettes à un haut degré, comme tous les agrégats de ce genre, à l'isomérisme et à l'instabilité ; aussi subissent-elles souvent des métamorphoses durant le cours du travail nutritif. Leurs mutations moléculaires se succèdent et s'engendrent.

Les spores, graines, bulbes, tubercules, rhizomes, les pousses vivaces des plantes ligneuses sont de vrais réservoirs nutritifs, où la séve organisée dépose des substances organiques, utilisables plus tard, soit pour la germination, soit pour la nutrition, quand reparaît le flot de la séve lymphatique du printemps. Ces substances sont alors entraînées, et fournissent des matériaux aux développements des bourgeons foliaux et floraux, à la nutrition des tissus, qui ne pourraient s'alimenter ailleurs, tant que la frondaison n'existe pas encore; mais, avant d'être entraînées et utilisées, ces substances en réserve subissent souvent des métamorphoses.

La fécule, déposée durant l'automne dans le corps ligneux des arbres, se transforme au printemps suivant en sucre, qui, dans certaines plantes, par exemple dans l'érable, charge abondamment la séve ascendante. MM. Payen et Persoz ont montré qu'il se produisait d'abord une matière appelée par eux *diastase*. Cette matière a la propriété de rendre la fécule soluble, en la transformant d'abord en dextrine, puis en sucre. Elle produit à fortes petites doses cette modification isomérique ; car elle est capable de rendre soluble cinq mille fois son poids de fécule.

Quant aux substances albuminoïdes en réserve dans

l'attente de la séve printanière, comme l'amidon, le sucre, l'inuline, la graisse, certaines d'entre elles, n'ayant rien perdu de leur solubilité, sont simplement reprises, entraînées et finalement assimilées. D'autres subissent aussi leurs modifications isomériques, spécialement dans la germination. Ainsi, durant la germination des légumineuses, la caséine se métamorphose en albumine dans les cotylédons. Dans les graminées, le gluten de l'endosperme, qui est insoluble dans l'eau, se dissout pendant la germination et est charrié dans la plantule. L'oxydation énergique, qui accompagne toujours la germination, détermine aussi la formation de substances régressives, par exemple de l'asparagine, qui peut-être est réassimilée plus tard.

Une certaine portion des hydrates carbonés est aussi totalement brûlée, convertie en eau et en acide carbonique par l'oxydation vitale. Ces hydrates se brûlent dans ce cas, soit dans les éléments anatomiques, soit dans la séve du végétal, comme ils le font dans le sang de l'animal, prouvant une fois de plus qu'il n'y a pas d'antagonisme entre le monde végétal et le monde animal, et qu'au fond les phénomènes primordiaux de la vie sont identiques dans les deux règnes.

Comme le dit fort bien Cl. Bernard, si l'animal mange le sucre accumulé dans la betterave, cela ne prouve nullement que ce sucre était fait pour lui. Il était au contraire destiné (si l'on peut employer ce mot, quand il s'agit de l'aveugle finalité organique), il était destiné à être brûlé par la betterave elle-même durant la seconde année de la végétation, alors que se développent la floraison et la fructification.

Quoi qu'il en soit, les substances nutritives, une fois suffisamment élaborées, sont assimilées, c'est-à-dire que leurs molécules vont s'intercaler entre les molécules organiques déjà formées, soit pour remplacer celles de ces

molécules qui ont été détruites, soit pour amener le grossissement de la cellule; d'autres s'organisent spontanément dans les blastèmes.

On peut faire quelques conjectures vraisemblables sur l'emploi spécial des diverses catégories de substances organiques. Il est probable que les hydrates de carbone et les corps gras se transforment surtout en membranes cellulaires, ces membranes étant principalement constituées par de la cellulose, dont la molécule est presque identique à celle des amidons, des sucres, des graisses. De là viennent aussi sans doute les acides végétaux, le tannin, les matières colorantes.

Les substances protéiques sont vraisemblablement employées à la formation des utricules azotés internes, inclus dans les cellules, à celle du protoplasme cellulaire et des grains chlorophylliens.

Elles fournissent encore, mais par oxydation incomplète, par dégradation, l'asparagine, dont nous avons parlé, et sans doute les alcaloïdes végétaux (quinine, morphine, strychnine, etc.), substances quaternaires, mais point protéiques, et dont la molécule très-complexe, très-riche en carbone, assez riche en hydrogène, contient encore une notable proportion d'oxygène et fort peu d'azote.

II. *Substances inorganiques.*

En dehors des gaz atmosphériques, nombre de substances minérales s'introduisent dans les plantes par les racines. Les principales sont des bases alcalines et terreuses : la potasse, la soude, l'ammoniaque, la magnésie, la chaux, salifiées ordinairement par les acides sulfurique, azotique, phosphorique, silicique, carbonique. Beaucoup de ces substances ne servent nullement à la nutrition des plantes; elles sont chassées mécaniquement par l'eau qui

pénètre dans le végétal et vont se déposer dans les tissus profonds, après avoir formé avec les acides végétaux des sels insolubles.

Habituellement, ces particules minérales s'intercalent uniformément entre les molécules organiques; aussi, par l'incinération ou en traitant par de certains acides les éléments anatomiques végétaux, on peut arriver à détruire les substances organiques qu'ils contenaient, en ne conservant qu'un squelette minéral, mais gardant néanmoins la forme de l'élément anatomique détruit.

Souvent aussi les sels minéraux forment dans les tissus végétaux, dans les cellules même, de vrais cristaux. Ce sont, par exemple, de fines incrustations granuleuses de carbonate de chaux, des faisceaux d'aiguilles d'oxalate de chaux, ou même des cristaux assez volumineux.

La proportion des matières minérales dans une plante est proportionnelle à l'âge de cette plante et aussi à la quantité d'eau qui la traverse, c'est-à-dire, en résumé, à l'activité de la végétation. La proportion des substances solubles peut subir certaines variations. Quant aux substances insolubles, elles s'accumulent sans cesse, en minéralisant de plus en plus le végétal et y rétrécissant le champ d'action de la vie. Si la plupart des substances minérales puisées dans le sol sont peu utiles au développement et à la nutrition des végétaux, il en est pourtant de fort importantes, par exemple l'ammoniaque, les phosphates et les sulfates. D'autres encore paraissent nécessaires tantôt à telle plante ou à tel groupe de plantes, tantôt à tel autre.

La plupart des plantes qui croissent sur le bord de la mer contiennent beaucoup de soude, et cette soude leur est nécessaire; car elles croissent seulement sur le littoral marin ou près des dépôts salins de l'intérieur des terres.

Dans les tissus des plantes de certaines familles très-

naturelles, on trouve toujours les mêmes substances minérales. Elles les ont donc choisies dans une certaine mesure. Citons les graminées, dont les tiges, sans exception, contiennent de la silice, tandis que les fruits renferment du phosphate de magnésie et d'ammoniaque.

Mais souvent les mêmes plantes contiennent des sels différents, suivant qu'elles croissent dans des terrains divers.

Notons pourtant que l'on peut, dans des conditions de culture artificielle, faire prospérer sans silice des plantes qui habituellement en contiennent beaucoup, par exemple le maïs.

La chaux serait utile aux plantes indirectement, en servant de véhicule aux acides sulfurique et phosphorique et en neutralisant l'acide oxalique, nuisible à la plante dans laquelle il se forme; mais toute autre base en pourrait faire autant.

III. *Influence de la lumière, de la chaleur et de l'électricité.*

Nous avons déjà longuement parlé de l'influence de la lumière solaire sur la nutrition végétale. Elle est telle que, sans cette influence, la presque totalité du monde végétal cesserait d'exister. Par suite, le monde animal, qui, directement ou non, vit, sur les parties continentales du globe, aux dépens du monde végétal, s'éteindrait aussi, au moins dans toutes ses branches supérieures, à la surface de ces régions terrestres. En effet, sans la lumière solaire, de tous les végétaux, les seuls champignons pourraient vivre encore sur les continents.

Mais la vie animale trouverait vraisemblablement un refuge dans la mer. Nombre d'animaux marins inférieurs se nourrissent et vivent sans le secours des végétaux. Or ces organismes rudimentaires, auxquels il faut bien ac-

corder la faculté de synthétiser des substances organiques complexes, à la manière des plantes, pourraient servir eux-mêmes à l'alimentation d'animaux aquatiques plus élevés, comme il arrive d'ailleurs actuellement. Toute cette faune aquatique pourrait donc vivre sans lumière. C'est même ce qui a lieu aujourd'hui, comme l'ont prouvé les dragages et sondages pratiqués, dans ces dernières années, au fond de l'Océan et des grands lacs.

La lumière solaire ne pénètre dans la mer qu'à une assez faible profondeur. Au-dessous de 50 brasses (fathoms, 1 *fathom* = 1^{m},82), un papier photographique très-sensible n'est plus impressionné. A cette profondeur aussi, le règne végétal n'est plus représenté que par de rares spécimens, et au-delà de 200 brasses il disparaît absolument. Or le fond de l'océan Atlantique, qui atteint jusqu'à 1400 et 1500 mètres, est couvert d'êtres organisés, appartenant tous d'ailleurs au groupe des protozoaires de Hæckel. Ce fond est partout tapissé de ces petits organismes sarcodiques, gélatineux, contractiles, appelés par Huxley *bathybius Hœckelii*. Au milieu de ces bathybius vivent des foraminifères, des rhizopodes, des radiolaires, des éponges (1).

Force est donc bien d'admettre que certains de ces organismes animaux rudimentaires peuvent décomposer l'eau, l'acide carbonique, l'ammoniaque, ou s'assimiler les nombreux détritus organiques en suspension dans les eaux marines et provenant des déjections des animaux et de la décomposition de leurs cadavres. C'est seulement ainsi qu'ils peuvent vivre, se multiplier et alimenter les animaux plus complexes.

Des faits analogues ont été observés dans le lac de Genève par MM. de Candolle, Forel, Dufour. Là aussi le papier photographique le plus sensible cesse d'être im-

(1) *The Dephths of the sea,* by C. Wyville Thomson. In-8°. London, 1873. Traduction française : *les Abîmes de la mer,* in-8°. Paris, 1875.

pressionné à une faible profondeur, à 50 ou 60 mètres l'été, à 40 ou 50 mètres l'hiver. Pourtant, au fond du lac habitent trente-cinq à quarante espèces animales inférieures.

L'idée d'une solidarité nécessaire entre les deux règnes organiques doit donc être abandonnée. Cette solidarité n'existe, dans une très-large mesure, que dans le monde organisé terrestre. Là on peut admettre, en thèse générale, que le règne végétal est nécessaire au règne animal. Or la presque totalité des plantes ne sauraient vivre sans lumière. Mais les rayons solaires calorifiques et chimiques ne sont pas moins nécessaires au maintien de la vie. L'irradiation solaire est donc une des grandes causes de la production, du développement et de la durée des êtres organisés. La grande théorie de la transmutation et de la corrélation des forces physiques est donc applicable à la biologie. Il faut se garder cependant de prétendre faire cette application avec une rigueur mathématique et inflexible, que le sujet ne comporte pas. Nous pensons aussi que l'on a été trop porté dans ces dernières années à considérer l'irradiation solaire comme la cause unique et universelle de la vie à la surface du globe. Avec ces réserves, on ne saurait nier que l'irradiation solaire ne se fixe, ne s'accumule dans la plante, et que dans les cas infiniment nombreux où celle-ci sert à l'alimentation animale, cette irradiation, emmagasinée par elle, ne se transforme en diverses séries de vibrations moléculaires, en chaleur, en mouvement, en pensée, etc.

Nous n'avons pas ici à revenir sur le rôle capital joué par la lumière dans la nutrition des végétaux; mais, en dehors des phénomènes de chimie synthétique accomplis par la chlorophylle, la lumière provoque encore chez les végétaux certains phénomènes secondaires, qui vraisemblablement dépendent de la propriété chlorophyllienne.

Ainsi, beaucoup de plantes *dorment* la nuit, c'est-à-dire abaissent plus ou moins leurs feuilles ou folioles ou bien les ramènent le long de la tige ou du pétiole principal. Ce phénomène dépend sûrement de la lumière, puisque de Candolle a pu faire dormir des sensitives, le jour, dans une obscurité artificielle et a réussi, d'autre part, à les faire veiller la nuit à la clarté des lampes (1). Ce soi-disant sommeil, cet affaissement des feuilles tiennent vraisemblablement à une diminution de la turgescence des tissus et cette diminution provient sûrement de l'inaction des cellules à chlorophylle, qui, n'exhalant plus et ne faisant plus de synthèses organiques, appellent moins d'eau dans les canaux pétiolaires, dans les méats, etc.

Si les ondulations lumineuses sont en quelque sorte l'âme de la vie végétale, les ondulations caloriques ne sont pas moins indispensables à la nutrition des plantes. Au-dessus et au-dessous d'une certaine température, la vie végétale s'arrête. D'une manière générale les limites thermométriques de la vie végétale sont 0 degré et 50 degrés (2). Il faut noter que les sucs cellulaires, étant des liquides très-chargés de substances en dissolution, ne se congèlent pas encore à 0 degré. M. Uloth a vu des graines d'*acer platanoïdes* et de *triticum* germer entre les fragments de glace d'une glacière et plonger dans des fragments de glace privés de toute fente, des racines nombreuses et longues de plusieurs pouces (3). Il est donc vraisemblable que la germination peut encore s'effectuer à 0 degré, et, comme elle développe toujours une notable quantité de chaleur, il a dû en résulter, dans le cas de

(1) *Mémoire sur l'influence de la lumière artificielle sur les plantes* (*Mém. des savants étrangers de l'Institut*, t. I).

(2) Sachs, *Ueber die obere Temperaturgrenze der Vegetation* (*Flora*, 1864.).

(3) Uloth, Flora, 1871.

M. Uloth, la fusion partielle de la glace, d'où la possibilité de la pénétration des racines.

Nous avons donné les températures limites, mais ces températures varient suivant les espèces. La plupart des plantes succombent après un séjour de dix minutes dans de l'eau à 45 ou 46 degrés. Dans l'air, les phanérogames sont tuées par un séjour de dix à trente minutes à une température de 50 à 51 degrés. Pour qu'il y ait altération durable, il faut parfois que la température atteigne 60 degrés. La mort arrive alors par la coagulation des substances albuminoïdes.

Les tissus végétaux desséchés (graines) peuvent naturellement supporter des températures plus excessives en plus et en moins. Ainsi des tissus séveux sont tués à 50 degrés, tandis que des graines desséchées de *pisum sativum* peuvent être chauffées impunément à 70 degrés pendant une heure.

Dans chaque végétal, chaque fonction a ses limites spéciales de température. Nous ne pouvons entrer ici dans l'énumération des faits de détail. Déjà pourtant nous avons relaté les températures nécessaires au fonctionnement chlorophyllien.

Dans les cellules tuées soit par la congélation, soit par une température trop élevée, les membranes cellulaires deviennent perméables ; les liquides filtrent au dehors ; par suite la turgescence cesse. Avant tout, le protoplasme s'immobilise, prend une teinte sombre et perd rapidement son eau par évaporation passive.

Dans les plantes, la vie n'est pas assez active pour qu'il y ait, comme chez les animaux supérieurs, une température propre, indépendante dans une certaine mesure de celle du milieu extérieur. Les petites plantes aquatiques et les parties souterraines des plantes terrestres ont d'ordinaire la température du milieu ambiant. En raison de

leur volume, les tiges massives suivent plus lentement le variations thermométriques extérieures, et, par suite, elles peuvent être plus chaudes ou plus froides que le milieu extérieur.

L'électricité semble exercer très-peu d'action sur le mouvement nutritif des plantes. De faibles courants constants, de petites étincelles d'induction, n'ont pas d'effet apparent soit sur le mouvement du protoplasme, soit sur celui des feuilles mobiles. Un courant trop puissant, une étincelle trop forte, provoquent soit l'arrêt du protoplasme, soit l'arrêt du tissu. Trente éléments Grove arrêtent instantanément le mouvement protoplasmique.

Quant à l'état électrique des tissus, il est curieux d'observer chez les plantes des phénomènes très-analogues à ceux qui ont été observés sur les nerfs et les fibres musculaires des animaux et ont servi de base à maintes théories. En effet, sur une tige coupée, il y a courant de la surface de la tige vers le centre de la section (1). Les courants électriques, qui, sans doute, résultent des réactions chimiques assimilatrices et désassimilatrices de la nutrition, ne sont donc pas spéciaux à tel ou tel tissu végétal ou animal. Là encore les deux règnes organiques se touchent et se confondent.

(1) Buff, *Annal. der Chemie und Pharmacie*, 1854, Band 89. — Jürgensen, *Studien des Physiologisches Instituts zu Breslau*, 1861, Heft I.— Heidenhain, *ibid.*, 1863, Heft II.

CHAPITRE IV

DE LA NUTRITION ANIMALE

Après ce qui a été dit précédemment, de la constitution anatomique et chimique des animaux et des plantes, de la nutrition en général et de la nutrition des végétaux, il sera possible d'abréger beaucoup l'exposition générale des phénomènes de la nutrition chez les animaux. En effet, si l'on ramène la nutrition à ses actes fondamentaux, c'est-à-dire à l'assimilation et à la désassimilation au sein d'une manière vivante, amorphe ou figurée, les phénomènes principaux sont sensiblement semblables dans les deux règnes, et même, si l'on envisage seulement certains organismes animaux rudimentaires, par exemple la *grégarine,* on peut dire qu'il y a identité de procédé, non pas, certes, avec ce qui se passe chez les végétaux supérieurs, où il existe déjà un haut degré de différenciation de tissu et de division du travail, mais avec le mode nutritif des végétaux purement cellulaires. C'est qu'en effet la dissemblance entre les végétaux et les animaux s'amoindrit d'autant plus que l'on compare des types inférieurs de l'un et de l'autre règne.

A vrai dire, ce serait aux champignons qu'il faudrait plutôt comparer la *grégarine,* animal parasite, sans aucune différenciation organique. En effet, comme les champignons vivent en assimilant les produits de la décomposition des organismes, et semblent impuissants à effectuer les synthèses chimiques dont les végétaux complets sont les agents, de même la grégarine absorbe et assimile directement dans les intestins des articulés et des vers, où elle vit des substances organiques complexes

qu'elle serait incapable de former. La même remarque générale pourrait s'appliquer à nombre d'infusoires, aux amibes, aux rhizopodes.

Nous aurons plus tard à décrire les principaux modes de différenciation physiologique et anatomique, à l'aide desquels les organismes animaux complexes préparent la voie à la nutrition intime et nous les verrons s'effectuer graduellement, se compliquer de plus en plus à mesure qu'on s'élève dans la série animale. Quant à présent, nous n'avons à considérer que les phénomènes nutritifs généraux; les principaux échanges de matière, qui s'accomplissent entre le corps d'un animal complexe et le monde extérieur.

Dans un tel organisme, il n'y a plus échange direct entre les éléments anatomiques et le milieu ambiant; des liquides intermédiaires, que l'on peut comparer à la séve élaborée des végétaux supérieurs, sont chargés de recevoir les nutriments tout préparés à l'assimilation, de les porter, de les offrir en quelque sorte aux éléments anatomiques; ceux-ci, en vertu de leur constitution intime, de leurs affinités, puisent dans ces milieux intérieurs et vivants les substances qui leur agréent et y rejettent celles de leurs molécules qui sont altérées par le jeu de la vie.

Nous avons déjà dit quelle est la composition de ces milieux vivants appelés plasmas et blastèmes. Nous savons qu'on y trouve des principes immédiats des trois ordres, substances minérales, matières ternaires amyloïdes, sucrées, grasses, enfin et surtout des substances protéiques, ou albuminoïdes. Naturellement les divers composés chimiques des liquides vivants sont d'autant plus nombreux, d'autant plus variés que l'animal est plus complexe, plus différencié, puisque dans tout organisme chaque espèce d'élément anatomique a ses préférences alimentaires spéciales. Aussi, tandis que chez les végétaux supérieurs

on a des produits de désassimilation peu variés, comme l'asparagine et peut-être quelques acides végétaux, on voit chez les animaux supérieurs les seules substances protéiques fournir, quand les éléments anatomiques les rejettent après les avoir oxydées, de l'urée, des urates, de la créatine, de la créatinine, de l'acide inosique, des inosates, etc.

Un fait très-général et très-important à signaler, c'est que tous les organismes vraiment animaux ne sauraient vivre sans absorber constamment des substances organiques complexes, et qu'ils sont impuissants à les créer eux-mêmes, du moins en suffisante quantité, aux dépens du monde minéral, d'où la nécessité pour eux de les emprunter soit à d'autres animaux, soit à des végétaux.

Le sang des animaux supérieurs est le grand marché où les éléments anatomiques s'approvisionnent des substances qui leur sont nécessaires et se débarrassent de celles qui les gênent. Par suite de son rôle dans le mouvement vital, le sang est lui-même nécessairement soumis à un perpétuel troc de matériaux. Il donne et prend d'une part aux éléments anatomiques, d'autre part au milieu ambiant. Il emprunte à l'air extérieur de l'oxygène par l'intermédiaire des organes respiratoires; il reçoit des organes digestifs des principes immédiats, des nutriments réparateurs, liquéfiés ou dissous. Enfin la totalité de la lymphe, quand elle existe, se déverse incessamment dans le sang. D'autre part, les tissus lui abandonnent les résidus dissous ou liquides de la combustion vitale.

Les dépenses du sang balancent ses acquisitions. Il exhale, par les poumons et la peau, de l'eau, de l'acide carbonique, de l'azote; il expulse, par diverses voies spéciales, de l'eau, des substances organiques complexes. De ces dernières la plupart sont purement régressives et destinées à être rejetées dans le monde minéral; les autres sont

modifiées par des organes sécréteurs spéciaux et deviennent aptes à jouer un rôle plus ou moins important dans diverses fonctions physiologiques. Enfin, d'autre part, le sang cède aux éléments anatomiques les trois ordres de principes immédiats indispensables à leur conservation, l'oxygène qui les brûle et les vivifie, l'eau qui les imbibe, divers sels minéraux, des substances ternaires hydrocarbonées, les matières protéiques neuves, qui, dans chaque élément anatomique, remplacent, molécule à molécule, les matériaux usés.

Ce double mouvement d'acquisition et de dépense est simultané dans le sang, comme le double mouvement d'assimilation et de désassimilation est simultané dans les éléments anatomiques.

Après cette esquisse générale du va-et-vient nutritif chez l'animal complexe, nous pouvons maintenant nous occuper de chacun des trois groupes de principes immédiats qui entrent dans la composition du corps de tout animal et indiquer à grands traits sous quelle forme ils pénètrent dans l'organisme et sous quelle forme ultime ils en sortent.

CHAPITRE V

DE L'ASSIMILATION CHEZ LES ANIMAUX

I. *Principes minéraux.*

Les principes minéraux qui s'introduisent incessamment dans les organismes animaux, sont les gaz de l'air, de l'eau en grande quantité et des composés solides dissous, dont les principaux sont le phosphate de chaux, le phosphate de magnésie, le bicarbonate de chaux, le fluorure de calcium, l'acide silicique, le chlorure de sodium, le carbonate de soude, les phosphates alcalins, l'oxyde de fer, etc. Les deux principaux gaz de l'air pénètrent directement à travers la surface limitante de l'animal chez les organismes très-inférieurs. Chez les autres, il existe des appareils variés suivant les espèces et les milieux, mais dont le rôle se borne, en dernière analyse, à mettre l'air extérieur en contact avec le sang noir ou veineux, sans autre barrière qu'une très-mince membrane organique, c'est-à-dire à réaliser dans une partie spéciale de l'organisme les conditions d'absorption osmotique qui existent sur toute la surface du corps des animaux inférieurs.

Des deux principaux gaz du sang, l'un, l'azote, est absorbé en moindre quantité et il semble n'exercer normalement aucun rôle dans l'économie animale. Il est rejeté comme il avait été pris et par les mêmes voies. Pourtant, dans l'état d'inanition, l'animal en fixe une partie dans ses tissus. Vraisemblablement il y a alors une synthèse directe. En revanche, quand l'animal jouit d'une alimentation azotée abondante, il rejette tout l'azote

aérien et en plus une certaine portion en excès provenant de la réduction des aliments (1).

L'oxygène a, dans le jeu des fonctions physiologiques, un bien autre rôle à remplir. Il pénètre dans le sang, est charrié par lui au contact des tissus, qui s'en imprègnent et brûlent, grâce à son concours, les principes immédiats qui les constituent, spécialement les substances organiques complexes. Enfin les éléments anatomiques restituent en retour au milieu sanguin un volume égal d'acide carbonique, dont une grande partie est exhalée surtout par les surfaces respiratoires, dont une petite partie forme des carbonates alcalins, en se combinant avec les bases existant préalablement dans les tissus.

Cette oxydation des éléments anatomiques est un des phénomènes primordiaux de la vie. Elle doit s'accomplir, sous peine de mort, dans toute substance vivante, figurée ou amorphe, végétale ou animale. C'est un phénomène biologique fondamental, et toutes les réactions de la chimie vivante en dépendent. Sans son intervention, il n'est plus dans toute substance organisée ni assimilation ni désassimilation, et les éléments anatomiques deviennent incapables d'exercer leurs fonctions spéciales; la cellule chlorophyllienne cesse alors sa synthèse chimique, la fibre musculaire animale ne se contracte plus, la cellule nerveuse ne peut plus sentir, vouloir et penser; il n'y a plus ni entretien, ni développement, ni génération des éléments anatomiques.

Chez les animaux invertébrés, dont le sang ne contient pas de globules, c'est le plasma sanguin lui-même qui charrie au sein des tissus l'oxygène en dissolution. Chez la presque totalité des vertébrés, au contraire, cet office est principalement dévolu aux globules rouges sanguins,

(1) Ch. Robin, *Des humeurs*.

comme nous l'avons déjà indiqué. La substance de ces globules, qui a pour l'oxygène une très-grande affinité, s'en imbibe, en fixe plusieurs volumes et devient vermeille. L'oxygène ainsi entraîné avec les globules est porté jusque dans les plus fines ramifications capillaires du système circulatoire. Là le globule, rencontrant des flots d'acide carbonique, résidu expulsé de l'oxydation des éléments anatomiques, troque contre cet acide son oxygène, avec lequel il n'avait formé qu'une combinaison instable. L'oxygène ainsi cédé va, par endosmose, revivifier les tissus, tandis que l'acide carbonique, entraîné à son tour par les globules, auxquels il a donné une teinte rouge sombre, est échangé par eux pour une nouvelle provision d'oxygène, dans les vaisseaux capillaires des organes spéciaux dits *respiratoires*. La respiration des animaux les plus complexes se résume donc en une série d'actes assez simples : absorption par les globules rouges d'oxygène aérien, cession de cet oxygène aux éléments anatomiques en échange d'un résidu d'acide carbonique, enfin troc de cet acide carbonique contre une nouvelle provision d'oxygène aérien. C'est un circulus incessant, qui ne s'arrête qu'à la mort.

La presque totalité de l'eau contenue en si grande proportion dans l'organisme animal y pénètre du dehors soit par la surface générale du corps chez les organismes inférieurs, soit par celle des organes dits *digestifs* chez les animaux complexes. Pourtant il est vraisemblable qu'une notable quantité d'eau se forme au sein même des tissus vivants par l'oxydation complète de certaines matières ternaires hydrocarbonées. L'eau charrie en outre avec elle dans l'économie d'importantes quantités de sels calcaires, alcalins, ferrugineux, et aussi une certaine quantité d'air qu'elle tient en dissolution. Boussingault a constaté que, chez une vache laitière, la quantité des

substances minérales prises chaque jour à l'abreuvoir s'élevait à 50 grammes.

En poids, l'eau forme la majeure partie de tout organisme animal, de tout plasma, de tout élément anatomique. Les substances albuminoïdes en fixent une notable quantité comme eau de constitution, une autre portion comme eau d'imbibition. L'eau ne semble pas être directement décomposée chez les animaux et son rôle est surtout mécanique, mais il n'en est pas moins important. C'est elle qui fournit aux principes immédiats le milieu fluide, indispensable aux échanges nutritifs ; c'est elle qui maintient dans les tissus les mêmes principes à l'état de solution, d'émulsion, en un mot de division moléculaire convenable, pour que les réactions chimiques indispensables à la vie puissent s'accomplir. Privées de leur eau, les substances vivantes perdent leur mobilité, leur instabilité, elles deviennent en quelque sorte minérales. On sait que certains infusoires rotifères, tardigrades et anguillules perdent ou recouvrent leurs fonctions physiologiques suivant qu'on les dessèche ou les imbibe (1).

L'eau sort de l'économie par diverses voies. Elle est exhalée par les surfaces externes, cutanées ou muqueuses, directement en contact avec le milieu extérieur, soit à l'état de vapeur, soit à l'état liquide. Mais, chez les animaux complexes, c'est surtout par certains organes sécréteurs ou excréteurs, notamment par les glandes rénales et sudorifiques, que l'eau des organismes s'échappe et rentre dans le monde minéral.

Quantité de sels, d'oxydes, etc., minéraux pénètrent dans l'économie soit avec l'eau, soit avec les aliments, quels qu'ils soient. Les principaux sont des phosphates de chaux, de magnésie, de soude, de potasse, des sulfates et car-

(1) J. Gavarret, *Nouvelles Expériences sur les rotifères* (*Journal du progrès*, t. IV, p. 421 ; t. V, p. 1).

bonates de chaux, de la silice, du chlorure de sodium, des carbonates alcalins, des sels de fer, etc.

Plusieurs de ces sels, quoique insolubles dans l'eau, sont dissous dans le sang grâce aux substances albuminoïdes, à l'acide carbonique et à d'autres sels qui leur servent de dissolvants. Une fois dans le sang, ils passent dans la substance des éléments anatomiques ; ainsi, dans la chair musculaire, on trouve du phosphate de chaux, du phosphate de magnésie, du phosphate tribasique de soude. Les carbonates alcalins se rencontrent aussi dans la plupart des solides et des liquides de l'économie.

Certains de ces sels se forment pourtant au sein des tissus par le jeu même de la nutrition ; ainsi l'acide carbonique, résultat de l'oxydation des éléments anatomiques, se combine avec les bases alcalines ; l'oxydation des substances protéiques donne lieu, spécialement dans le tissu nerveux, à la formation d'acide phosphorique, qui se combine aussi avec les bases alcalines unies à des acides plus faibles, etc.

Le phosphate de chaux tribasique, qui est dissous dans le sang ou combiné aux albuminoïdes de cette humeur, se dépose à l'état solide dans les os, les dents, les poils.

Le chlorure de sodium est en notable proportion dans le sang, dans tous les liquides et solides de l'économie. Son rôle est encore mal défini, mais sa présence semble nécessaire. Il doit figurer dans l'alimentation des hommes et des animaux. Dans son voyage à travers le continent africain, Livingstone, ayant dû vivre sans viande et sans lait pendant des mois entiers, raconte qu'il éprouva un violent besoin de manger du sel marin ; il ajoute qu'après cette disette spéciale, la viande et le lait eurent d'abord pour lui un goût salé très-manifeste.

Le fer, quoique en fort petite quantité dans le sang, est une substance absolument nécessaire. Nous avons vu

qu'il fait partie de l'hémoglobine du sang. Son rôle curatif dans l'anémie est aussi bienfaisant que connu.

II. *Principes hydrocarbonés.*

Les principes hydrocarbonés, c'est-à-dire surtout les substances amyloïdes et sucrées, semblent ne pénétrer dans la circulation et par suite dans les éléments anatomiques qu'après avoir été transformés en dextrine ou en glycose, de même que chez les végétaux les amas amidonnés sont saccharifiés avant d'être utilisés pour la nutrition. Dans le sang et aussi dans les éléments anatomiques, ces substances ternaires rencontrent de l'oxygène, qui les réduit, quand l'oxydation est complète, en eau et en acide carbonique. Cette transformation des substances hydrocarbonées ne laisse pas de résidu organique, mais développe de la chaleur et contribue puissamment à faciliter toutes les réactions, tous les échanges matériels qui sont le fond même de la nutrition. Cl. Bernard a prouvé qu'une partie de ces composés ternaires se forment directement, par synthèse, dans les tissus animaux aussi bien que chez les végétaux. Le foie des animaux fabrique dans ses cellules une matière amyloïde dénommée *glycogène*, qui se transforme ensuite en sucre. Le placenta de la plupart des mammifères est aussi une fabrique de glycogène. Le placenta des ruminants semble faire exception, mais la fonction glycogénique est alors remplie par des plaques, des villosités spéciales de l'amnios. On trouve encore du sucre dans les muscles du fœtus, dans la plupart des cellules épithéliales tapissant ses muqueuses, dans les os et les cartilages. Chez l'écrevisse, où le développement se fait par secousses, par *mues*, le foie ne contient de matière glycogène que durant ces périodes d'accroissement rapide.

Il semble certain que les cellules glycogéniques du foie

et toutes les cellules analogues peuvent fabriquer synthétiquement de la matière glycogène aux dépens des aliments quels qu'ils soient, mais il semble aussi incontestable qu'elles utilisent directement les substances de composition similaire contenues dans les aliments. M. W. Pavy a constaté, en effet, que chez des chiens nourris exclusivement avec de la viande, la proportion moyenne de matière glycogénique était de 6,97 pour 100, tandis qu'elle s'élevait à 17,23 pour 100 chez d'autres chiens nourris avec des pommes de terre bouillies, de la farine d'orge, du pain. Enfin elle était de 14,5 pour 100 quand on ajoutait une forte proportion de sucre à la ration de viande (1).

Nous avons dit que la combustion des matières hydrocarbonées dans les organismes développait de la chaleur, qui était ensuite utilisée dans les réactions de la chimie vivante. Nous verrons plus loin qu'une portion de cette chaleur peut aussi se transformer directement en mouvements musculaires. En effet, on trouve du sucre dans les muscles du fœtus, dans le tissu des muscles immobilisés par la section de leurs nerfs moteurs, dans les muscles des animaux soumis au sommeil hibernal. Enfin on trouve, dans le suc extrait des muscles, de l'acide lactique, de l'inosite, qui semblent des produits dérivés de l'oxydation des substances hydrocarbonées.

Il faut noter encore que, dans les derniers temps de la vie intra-utérine, quand les muscles se contractent déjà fréquemment, on ne rencontre plus dans leur tissu que de l'acide lactique, comme chez l'adulte. On sait, d'autre part, que, tant qu'un muscle est immobile, le sang artériel ne s'y transforme en sang veineux que pour une très-faible part. Il semble donc qu'en effet l'action musculaire soit une des causes principales de l'oxydation des sub-

(1) *The influence of the diet on the liver*. London. (*Guy's Hospital Reports*, 1859.)

stances hydrocarbonées contenues dans le sang et dans les tissus. Quant à la question de la transmutation directe de la chaleur en mouvement par le muscle, elle est trop complexe pour ne pas mériter un chapitre à part.

Des substances analogues aux substances amyloïdes et sucrées, des corps gras, pénètrent aussi dans le sang à l'état de très-fine division, d'émulsion. Chez les animaux supérieurs, cette émulsion est accomplie par des liquides spéciaux, la bile et le suc pancréatique; celui-ci passe avec ces matières dans le sang et les décompose en glycérine et en acides gras; car elles ne semblent pas toujours utilisées en nature. Dans le sang, les corps gras se dédoublent en formant des acides gras, oléique, stéarique, etc., qui deviennent des oléates et stéarates de soude et de potasse; en outre des acides cholique, choléique, d'où des cholates et choléates; enfin de la cholestérine et une substance grasse phosphorée, la cérébrine. Il est vraisemblable, d'ailleurs, qu'elles finissent aussi, comme la majeure partie des matières amyloïdes, par être oxydées, en développant de la chaleur utilisable. On sait que les matières grasses figurent en énorme quantité dans l'alimentation des habitants des régions polaires et que, dans les mêmes conditions, des matelots européens ont trouvé de l'avantage à adopter le même genre d'alimentation que les indigènes.

Il est, du reste, constant que les organismes animaux peuvent fabriquer de la graisse avec des matières sucrées. MM. Dumas et Milne-Edwards, ayant nourri des abeilles exclusivement avec du miel, ont obtenu ainsi un excédant de cire (1).

Quelle que soit leur provenance, les matières grasses de l'économie, quand elles sont en excès, se déposent dans les mailles du tissu cellulaire, et d'ordinaire en quantité

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1843, t. XVII, p. 531.

d'autant plus considérable que l'activité organique est moindre.

III. *Substances albuminoïdes.*

Se forme-t-il de toutes pièces, par synthèse chimique, dans l'économie, des substances protéiques ? Cela est possible, mais d'ailleurs insuffisamment prouvé. Le plus vraisemblable est que les substances albuminoïdes des éléments anatomiques proviennent, au moyen d'élaborations et de modifications isomériques multiples, des composés de même genre existant dans les aliments. Ces substances, les animaux inférieurs, sans systèmes anatomiques différenciés, les absorbent directement dans le milieu ambiant, les autres espèces animales les trouvent toutes préparées dans d'autres organismes. Suivant une formule générale, qui a cours depuis longtemps, c'est le règne végétal qui est le pourvoyeur obligé du règne animal. Nous avons vu que cette formule, vraie pour la très-grande majorité des animaux terrestres, souffre vraisemblablement une large exception pour la faune marine.

Mais, en définitive, que l'origine première des substances organiques soit végétale ou animale, il n'en est pas moins vrai que l'animal quelque peu complexe a besoin d'emprunter à d'autres organismes les aliments non minéraux, sans lesquels il ne saurait vivre. Si, comme nous venons de le voir, on peut dans une certaine mesure contester le fait pour les composés amyloïdes et sucrés, on ne le peut plus pour les plus importants matériaux des êtres vivants, pous les substances protéiques.

L'animal n'absorbe point et n'assimile pas non plus directement ces substances ; il faut, avant d'être absorbées, qu'elles aient subi d'importantes modifications isomériques dues, chez l'animal supérieur, à l'action d'agents fermentescibles appelés *pepsine, pancréatine,* etc., qui sont

sécrétés par certaines portions de l'appareil digestif. Sous l'influence de ces agents, les corps albuminoïdes végétaux et animaux subissent une transformation isomérique. Tous deviennent solubles et incoagulables par la chaleur; ce sont alors des *peptones*, et c'est sous cette forme qu'ils passent dans la circulation. Chez les vertébrés, ce sont les capillaires intestinaux et par suite les veines intestinales, qui sont la voie principale de l'absorption des albuminoïdes. Une fois dans le sang, ces substances passent de l'état de peptones ou d'albuminose à celui d'albumine, de plasmine ou de matière fibrinogène. Cette élaboration compliquée est nécessaire : ainsi une solution d'albumine d'œuf injectée dans les poumons, dans les séreuses, dans le tissu cellulaire d'un animal, dans une de ses veines, n'est point assimilée et passe intacte dans l'urine (1).

Les peptones n'étaient pas coagulables par la chaleur, mais les principes azotés qui en dérivent et qui ont achevé de se former dans le sang sont redevenus coagulables. Absorbés électivement par les éléments anatomiques, ils s'y incorporent molécule à molécule après avoir subi une modification isomérique dernière. En effet, justifiant le nom de *protéiques* qu'on leur a donné, ils deviennent, en fin de compte, de l'hémoglobine, de la kératine, de la syntonine, de l'osséine, etc., toutes substances ayant une composition chimique analogue à celles d'où elles proviennent, mais étant douées de propriétés fort différentes.

Mais les substances albuminoïdes ne pénètrent pas seules dans la trame des tissus vivants. Elles entraînent avec elles nombre de matières minérales, vis-à-vis desquelles elles jouent le rôle de dissolvants, par exemple des sels calcaires, de la silice, etc. (2).

(1) Cl. Bernard, *Progrès et Marche de la physiologie générale en France*, p. 197.

(2) Ch. Robin, *Leçons sur les humeurs*, p. 103, 104.

Les peptones, qui ont la même propriété, s'incorporent en quelque sorte certaines substances dissoutes. En effet, digérées artificiellement et mêlées alors à beaucoup de sucre, elles n'offrent néanmoins aucune réaction si on les traite avec le réactif de Trommer (1).

Les matières azotées complexes assimilées par les tissus ne sont pas les seules que fournisse le sang. D'autres substances azotées sont fabriquées aux dépens des principes coagulables du sang, par des organes sécréteurs spéciaux appelés *glandes*. Ces substances sont destinées à être les agents spécialement actifs, l'âme de divers liquides sur lesquels nous aurons à revenir. Citons, comme spécimens, les ferments digestifs, pepsine et pancréatine, dont nous avons parlé tout à l'heure.

On voit, d'après ce qui précède, combien il est difficile de faire le bilan de la nutrition d'un animal. Les substances alimentaires ne sont, en effet, utilisées qu'après avoir subi une série d'élaborations, de métamorphoses, et, comme nous allons le voir, avant d'être éliminées, elles sont encore remaniées à nouveau. Car l'élément anatomique n'est point un élément passif, se laissant imbiber comme un filtre : c'est un agent vivant, doté de besoins spéciaux, qu'il satisfait, sous peine de mort, en choisissant parmi les matériaux en contact avec lui, en formant parfois de toutes pièces les substances indispensables à sa nutrition, puis en les décomposant et les rejetant ensuite; c'est à la fois un agent de synthèse et un agent de réduction chimique.

C'est surtout dans le noyau de l'élément anatomique que semble résider sa puissance d'attraction et de répulsion chimiques. Dans la cellule glycogénique, selon Cl. Bernard, le sucre s'accumule seulement tant que le

(1) M. Schiff, *Digestion*, t. II, p. 154.

noyau persiste, et dans les fibres musculaires, le noyau persisterait comme régulateur de la nutrition.

Au contraire, la dégénérescence et la mort de l'élément seraient la conséquence de la disparition du noyau (1).

(1) Cl. Bernard, *Progrès et Marche de la physiologie*, etc., p. 99.

CHAPITRE VI

DE LA DÉSASSIMILATION CHEZ LES ANIMAUX

Une fois les nutriments élaborés et assimilés, la première moitié du mouvement nutritif est accomplie ; mais, dans la substance vivante, il n'y a jamais de repos, et ces mêmes matériaux, employés jusqu'alors à un travail de réparation, de reconstruction, s'usent à leur tour ; à leur tour ils deviennent impropres à figurer dans un tissu vivant et sont éliminés sous diverses formes.

Les substances expulsées de la machine animale, les éléments de régression, se peuvent diviser en trois grandes catégories : 1° des substances minérales ; 2° des subtances mixtes, tout à fait minérales par leurs propriétés, mais ne se formant pas spontanément en dehors des organismes animaux ; 3° enfin des composés azotés complexes, mais cristallisables. Pas de substances vraiment protéiques. Ces dernières ne sont pas normalement expulsées des organismes animaux.

Les substances minérales sont ou gazeuses, ou liquides, ou solides en dissolution. Les gaz sont, chez la presque totalité des animaux, de l'azote, de l'oxygène, de l'acide carbonique. L'azote provient, pour une faible partie, de la combustion complète d'une portion des substances azotées, et, pour la plus grande part, c'est simplement de l'azote aérien, qui, après avoir pénétré dans les tissus, en est expulsé, sans y avoir joué aucun rôle appréciable. Mais les expériences de M. Regnault ont montré que, même à l'état de repos complet, les animaux exhalent, surtout quand ils ont une nourriture richement azotée, une faible proportion d'azote, résidu de la combustion

complète d'une faible quantité de matières albuminoïdes (1).

L'oxygène exhalé provient sans doute aussi de l'air extérieur. C'est un excédant qui n'a pu être utilisé. Jusqu'ici, du moins, on n'a pas constaté que les réactions chimiques de la nutrition missent en liberté du gaz oxygène.

Quant à l'acide carbonique, exhalé en abondance par la surface générale du corps des animaux, et surtout par leurs organes respiratoires, il provient presque en totalité de la combustion lente, de l'oxydation des tissus. On peut, en effet, dans le bilan nutritif animal, ne pas tenir compte de la faible proportion d'acide carbonique contenu dans l'atmosphère. L'acide carbonique exhalé par l'animal est un vrai principe de désassimilation; formé dans la substance même des éléments anatomiques, il est d'abord chassé dans le torrent circulatoire chez les animaux sanguifères, pour être enfin rendu au milieu aérien. Le mode intime de formation de l'acide carbonique est loin d'ailleurs d'être encore bien connu. Ainsi la quantité d'acide carbonique exhalé par les poumons ne correspond pas exactement à la quantité d'oxygène absorbé. Il semble donc qu'on n'ait pas là affaire simplement à une combustion (2). On a pu comparer, dans les divers tissus et organes, la puissance de la formation d'acide carbonique, c'est-à-dire évaluer, dans une certaine mesure, l'énergie relative de l'oxydation chez les animaux supérieurs. Les parenchymes de certaines glandes fort actives, comme le foie et les reins, donnent une forte proportion d'acide carbonique. Le tissu musculaire en fournit moins et le tissu nerveux moins encore.

(1) J. Gavarret, *Des phénomènes physiques de la vie*, p. 177, 178.
(2) Cl. Bernard, *Progrès et Marche de la physiologie générale en France*, p. 191.

Ce n'est point dans le sang que se produit la presque totalité de l'acide carbonique exhalé, c'est dans les éléments histologiques eux-mêmes; aussi trouve-t-on que le sang a toujours une température moins élevée que les tissus d'où il provient.

Comme substance minérale et liquide exhalée, nous avons à mentionner l'eau, excrétée surtout par la peau et par les reins à l'état liquide, par les organes respiratoires à l'état de vapeur. Notons, en passant, que cette vapeur pulmonaire est chargée de particules azotées putrescibles.

Mais l'eau à l'état liquide n'est pas excrétée seule; elle entraîne quantité de substances minérales, la plupart salines, quelques-unes acides. Les sels en dissolution dans l'eau sont des carbonates, des sulfates, des phosphates, etc., dont certains n'ont fait que traverser l'organisme, pour en sortir comme ils y étaient entrés; dont une partie pourtant s'est directement formée dans l'organisme. L'acide carbonique, par exemple, si abondant dans les solides et les liquides vivants, peut s'y unir aux bases qu'il y rencontre. D'autre part, il est vraisemblable que la combustion des matières protéiques dans la nutrition donne lieu à la formation d'acides sulfurique et phosphorique, qui, de leur côté, se combinent aussi aux bases, soit directement, soit en déplaçant des acides plus faibles. Il est certain, en effet, que ces sels se rencontrent toujours dans les cendres des matières protéiques brûlées directement. Enfin on a constaté que tout travail intellectuel soutenu, chez l'homme, correspondait à une abondante excrétion de phosphates par les reins, et l'on sait que le tissu nerveux est fort riche en phosphore (1).

Aux acides minéraux il faut ajouter des acides or-

(1) Byasson, *Essai sur le rapport qui existe, à l'état physiologique, entre l'activité cérébrale et la composition des urines*. Thèses de la Faculté de médecine de Paris, 1868, nº 162.

ganiques; les uns, non azotés, comme l'acide lactique ($C^6H^5O^5$,HO), résultent probablement de l'oxydation ou du dédoublement des hydrocarbures des graisses; d'autres sont azotés et proviennent de l'oxydation des matières protéiques. Ces acides, qui sont à formule fixe, comme les acides minéraux, ne se forment que dans les tissus des animaux, et, une fois constitués, ils se comportent exactement comme les acides minéraux ordinaires et s'unissent aux bases pour former des sels, qui sont aussi expulsés par les voies ordinaires. Les principaux de ces acides organiques azotés sont l'acide urique ($C^{10}H^4Az^4O^6$), très-abondant chez l'homme, les mammifères carnivores, les oiseaux, les reptiles, et l'acide hippurique ($C^{18}H^8O^5Az$,HO), qui se rencontre surtout chez les mammifères herbivores.

C'est dans les éléments anatomiques eux-mêmes que se produisent les urates, et c'est de là qu'ils passent ensuite dans le sang. Ils se créent particulièrement dans les tissus fibreux et musculaires. La formation d'acide urique semble répondre à une oxydation incomplète, imparfaite des tissus, du moins chez l'homme, et pourtant on trouve cet acide en énorme quantité dans l'urine des oiseaux, dont la respiration est extrêmement active : fait paradoxal, comme il en est beaucoup en biologie, et prouvant bien qu'il reste encore beaucoup à faire aux physiologistes.

Il faut mettre sur le même plan que l'acide urique une substance plus importante encore, l'urée ($C^2Az^2H^4O^2$), provenant, comme l'acide urique, de l'oxydation des substances albuminoïdes, mais d'une oxydation plus profonde et plus complète. On doit bien se garder de considérer l'urée comme un résidu alimentaire : cette substance se forme incessamment, régulièrement, et provient de la désassimilation des éléments anatomiques eux-mêmes. Elle se produit même dans l'abstinence, puisque Lassaigne

en a trouvé dans l'urine d'un supplicié mort après dix-huit jours d'abstinence absolue, et elle existe aussi dans l'urine des nouveau-nés. Comme elle se forme constamment, on la rencontre constamment aussi dans le sang, qui la reprend aux tissus.

L'urée et les urates ne sont pas les seuls produits de la désassimilation moléculaire des éléments anatomiques. Il est toute une série de composés analogues; car chaque espèce d'élément anatomique, ayant sa composition propre, assimile et désassimile des substances particulières. Les principales substances azotées quaternaires provenant de la désassimilation protéique sont la créatine, la créatinine, la leucine, l'acide inosique, les inosates. Toutes ces substances sont cristallisables. Elles sont produites plus spécialement par tel ou tel tissu. Ainsi la créatine semble être presque exclusivement un produit de la désassimilation de la substance musculaire. La leucine se trouve plutôt dans le tissu des glandes avec ou sans canal excréteur, dans les ganglions lymphatiques et aussi dans la substance grise du cerveau (1).

L'oxygène est bien certainement l'agent déterminant de la composition de tous ces corps régressifs. Pourtant, selon M. Robin, il n'y aurait pas oxydation simple, mais oxydation avec dédoublement, et souvent dédoublement simple, *catalyse* dédoublante, suivant l'expression technique. Il faudrait même établir, sous ce rapport, entre l'assimilation et la désassimilation, une sorte d'antagonisme. L'une s'opérerait surtout par *catalyse* métamorphosante et l'autre par *catalyse* dédoublante. Ce sont là des données qu'il est prudent de n'admettre encore que sous bénéfice d'inventaire. On peut en effet, dans une certaine mesure, noter au passage les substances qui entrent dans

(1) Ch. Robin, *loc. cit.*, p. 686-688.

un organisme animal et celles qui en sortent; mais, de l'entrée à la sortie, il s'est passé toute une série de réactions, de transformations, que l'on est loin d'avoir suivies pas à pas, puisque l'on n'est même pas encore parvenu à donner la formule définitive des substances albuminoïdes.

CHAPITRE VII

PHÉNOMÈNES INTIMES DE LA NUTRITION ANIMALE

M. Cl. Bernard a récemment émis, sur les phénomènes de la nutrition, des vues générales, étayées encore sur un trop petit nombre de faits, mais vraies sûrement dans une certaine mesure, et d'un haut intérêt.

Suivant lui, il faudrait rejeter bien loin toute idée d'assimilation alimentaire directe. L'élément histologique agirait non sur les substances complexes absorbées par l'organisme animal, mais sur les éléments de ces substances, qu'il décomposerait ainsi non point uniformément, mais suivant ses besoins, en choisissant, comme le fait un chimiste dans son laboratoire, et tirant les éléments qui lui sont indispensables de composés complexes à formules très-diverses. Le fait suivant, cité par Burdach, viendrait à l'appui de cette manière de voir. « John a vu périr des graines semées dans de la silice en poudre avec de la potasse et du blanc d'œuf frais; elles ne germaient que quand ce dernier était déjà putréfié. Ici la matière organique n'agit comme aliment que quand elle est sur le point de rentrer entièrement dans la nature inorganique (1). » De son côté, M. Cl. Bernard a vu que, sans doute, les aliments sucrés introduits dans l'alimentation favorisaient la production de la matière glycogène du foie, mais que d'autres corps tout différents, comme la glycérine, le chloroforme, etc., ne la favorisaient pas moins. Tous ces corps agiraient simplement comme excitants nutritifs. La cellule hépatique apparaît d'abord dans le

(1) Burdach, *Physiologie*, t. IX, p. 392.

foie sans caractères déterminés, puis on voit un produit amidonné se former dans sa cavité, comme l'amidon se forme dans la cellule à chlorophylle, et sans doute par une synthèse chimique analogue.

La larve de mouche, l'asticot, peut être considérée comme un sac de matière glycogène; or cette larve se développe et se nourrit surtout aux dépens de la viande en putréfaction, en voie de décomposition, de minéralisation. Des expériences précises auraient démontré que cette larve se développait non point aux dépens de la viande en général, mais d'une petite partie de substance extractive; or elle fabrique pourtant de la matière glycogénique avec cette substance azotée.

La fonction glycogénique est diffuse chez les animaux inférieurs et spécialisée chez l'homme et les mammifères supérieurs. M. Cl. Bernard en conclut qu'il en doit être de même pour la formation des substances albuminoïdes, qu'il doit, par conséquent, y avoir des cellules animales, où s'accomplit spécialement la synthèse des matières protéiques aux dépens des éléments dissociés des nutriments (1).

Il est très-sûr que les diverses espèces d'éléments histologiques fabriquent des substances quaternaires variées, puisque chacune d'elles a sa composition chimique spéciale et que leur assimilation se fait aux dépens du même plasma sanguin; mais où sont les agents spéciaux de la fabrication albuminoïde dans l'organisme animal complexe? Nul ne le sait encore. En outre, il est incontestable que l'animal ne saurait vivre sans aliments azotés, contenant déjà, toutes préparées, des substances analogues à celles qui constituent la trame de ses tissus. Nul animal ne saurait s'alimenter simplement avec de l'eau distillée

(1) Cl. Bernard, *Des phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (*Revue scientifique*, 1874).

et de l'air, où il trouve cependant de quoi composer élémentairement des substances ternaires et quaternaires.

Le bilan précis de nos connaissances sur cette question si intéressante est bien facile à établir : oui, la cellule chlorophyllienne fait de l'amidon et vraisemblablement des substances protéiques, en combinant ensemble les éléments de l'atmosphère et ceux de la séve ascendante. Oui, encore, il y a dans les organismes animaux des cellules qui fabriquent une substance amyloïde, soit par isomérie, soit par synthèse. Tout le reste est à l'état d'hypothèse.

Un fait bien certain, c'est que les animaux ne sauraient s'alimenter sans substances déjà élaborées soit par des végétaux, soit par d'autres animaux, et qu'il en sera de même de l'homme, tant que la chimie ne saura point fabriquer de toutes pièces, synthétiquement, les principes immédiats organiques et complexes dont il a besoin.

La synthèse des substances albuminoïdes semble devoir défier encore bien longtemps la science du chimiste. Pourtant ces substances sont par excellence les matériaux de la vie; mais leur mobilité, leur instabilité, c'est-à-dire les qualités mêmes qui les rendent aptes à former les éléments anatomiques vivants, sont de très-sérieux obstacles non-seulement à leur fabrication artificielle, mais même à la détermination de leur formule, et, jusqu'à présent, la chimie n'a réussi à synthétiser que des hydrocarbures ou des corps azotés régressifs, dont l'urée est le type.

Une très-importante propriété des substances albuminoïdes coagulables dérive de leur mobilité même; c'est la faculté qu'elles ont de se transmettre, dans les organismes vivants, et par simple contact, leurs états moléculaires. Il n'y a là que de simples changements isomériques, et c'est par ce procédé que chaque élément anatomique,

quelle que soit sa composition, fabrique, aux dépens des plasmas, des sucs nutritifs communs, les composés spéciaux qu'il doit s'assimiler (1).

C'est aussi de cette manière que l'on peut expliquer l'action des virus ainsi que l'hérédité et la contagion morbide.

On peut observer des phénomènes analogues sur les substances protéiques privées de vie. C'est ainsi, par exemple, que de la chair musculaire ou du sang se putréfient avec une grande rapidité, quand on les met en contact avec les particules organiques appelées *miasmes*, que l'on retire, par condensation, de la vapeur aqueuse de l'atmosphère des marais, ou de l'air confiné, vicié par des agglomérations d'animaux ou d'hommes (2).

Nous avons parlé, dans un de nos premiers chapitres, de la grande affinité que montrent pour l'eau les substances albuminoïdes. On comprend de suite quelle extrême importance a cette propriété dans le jeu de la nutrition. C'est là, en effet, une des principales conditions de l'absorption et de l'assimilation. En réalité, tous les éléments anatomiques des animaux, même de ceux qui vivent dans l'air, sont des organismes aquatiques. Ils vivent dans les plasmas et les blastèmes comme les animaux marins vivent dans l'eau. Ils ont leurs milieux liquides intérieurs, qui les sauvegardent contre l'action destructive du milieu aérien extérieur. C'est dans ces milieux intérieurs qu'ils prennent leurs nutriments et rejettent leurs sécrétions. Aussi toutes les membranes animales perdent leurs propriétés vitales en se desséchant, et les animaux aériens, tout aussi bien que les animaux aquatiques, ne peuvent respirer que par l'intermédiaire de tissus incessamment lubrifiés.

(1) Ch. Robin, *loc. cit.*, Introduction, p. XIII.
(2) *Ibid.*, p. 195-199.

D'après ce que nous avons dit précédemment de la composition chimique des animaux et des végétaux ainsi que de la nutrition en général, il va de soi que les phénomènes intimes de la nutrition, déjà si analogues dans les deux règnes organiques, sont identiques chez les animaux dits *herbivores* et chez ceux dits *carnivores*. Il y a différence seulement dans la constitution des appareils chargés de préparer les matériaux alimentaires. On sait d'ailleurs que nombre d'animaux sont indifféremment herbivores et carnivores, et nous verrons plus tard que la transformation d'un herbivore en carnivore n'est plus qu'un jeu pour le physiologiste. Cette transformation s'opère du reste spontanément sous l'influence de l'abstinence. Alors l'urine des herbivores, normalement trouble et alcaline, devient claire et acide comme celle des carnivores. En outre, si l'on compare chaque jour chez un animal inanitié la quantité d'oxygène absorbée par la respiration avec la quantité de ce même gaz entrant dans la composition de l'acide carbonique exhalé, on voit le rapport s'établir d'abord comme si l'animal était soumis à une alimentation graisseuse, puis comme s'il était exclusivement nourri de viande, mais en quantité insuffisante (1).

C'est que, en effet, il faut aux éléments anatomiques animaux des substances assimilables, complexes, ternaires et quaternaires; mais il importe fort peu que ces substances soient empruntées au règne végétal ou au règne animal, pourvu qu'elles aient subi une préparation convenable. Que si ces aliments d'origine extérieure viennent à manquer, le mouvement nutritif continue néanmoins encore durant un temps plus ou moins long, chez les animaux complexes, mais alors il s'exerce aux dépens de la substance vivante elle-même; l'organisme se mange

(1) G. Sée, *Le sang et les anémies*.

littéralement lui-même. Le sang cède d'abord tout ce qu'il peut céder de substances assimilables et répare ses pertes aux dépens des tissus, des éléments anatomiques, dont il a précédemment fourni les matériaux. Il reprend ce qu'il a donné. C'est ce qu'on a appelé *l'abstinence physiologique.*

Cette abstinence peut être provoquée par diverses causes. Tout ce qui peut troubler les mutations internes des tissus, de manière à faire prédominer les dépenses nutritives sur les recettes, est cause d'abstinence physiologique : par exemple, une alimentation mal choisie, fût-elle copieuse, où manque l'un quelconque des principes constituants indispensables à l'organisme ; ou bien une réparation incomplète, que la cause en soit dans un vice pathologique des organes ou dans une altération de l'air extérieur (encombrement, air confiné, etc.). L'abstinence alors porte uniquement sur l'oxygène ; mais nous avons vu que ce gaz est indispensable à l'utilisation des matériaux alimentaires.

Au plus bas échelon du monde organisé, chez les êtres formés d'une seule cellule ou d'un groupe de cellules identiques, l'abstinence amène la dissolution de l'organisme dans le milieu ambiant, le retour direct au monde minéral. C'est en fin de compte ce qui arrive chez les êtres les plus complexes, mais ici la scène est plus variée ; car le corps des animaux supérieurs est un agrégat de divers organes et appareils constitués par le groupement, l'intrication d'éléments anatomiques dissemblables entre eux, spéciaux par la forme et la fonction. Le corps des mammifères supérieurs doit donc être considéré cemme une république hiérarchiquement organisée avec division du travail. A tel tissu la sécrétion, à tel autre le mouvement, à tel autre la sensibilité, la motilité, la pensée, etc., à tous la vie, c'est-à-dire, en résumé, le mouvement d'as-

similation et de désassimilation, mais plus ou moins tenace, rapide et énergique. Il en résulte que devant l'abstinence chacun de ces tissus se comporte diversement, qu'une fois les vivres coupés ou fournis en quantité insuffisante, nos citoyens histologiques se résorbent et périssent plus ou moins tardivement. Ceux qui se détruisent d'abord sont ou les moins robustes ou ceux qui ont des besoins nutritifs très-exigeants, ceux qui, par leur essence, sont le siége des mutations les plus rapides. Ils se dissolvent, les principes immédiats qui les constituaient sont résorbés et repassent dans le torrent circulatoire; car il y a circulation chez tous les animaux très-complexes. Le sang rend alors aux tissus ce qu'il vient de leur prendre; mais il prend aux uns pour donner aux autres; il satisfait d'abord les plus exigeants au détriment des plus patients. En résumé, les éléments anatomiques les plus avides, les plus actifs, mangent les plus faibles et vivent à leurs dépens.

Suivant Chossat (1), dont le travail fait autorité sur cette question, la mort d'un animal par abstinence totale ou graduée arriverait quand cet animal aurait perdu environ les quarante centièmes de son poids total, ou parfois les cinquante centièmes, si l'animal est obèse. Le tableau suivant indiquerait l'inégale répartition de la perte sur les différents organes :

Parties perdant plus que la moyenne.		Parties perdant moins que la moyenne.	
	0,400		0,400
Graisse	0,933	Estomac	0,397
Sang	0,750	Pharynx, œsophage	0,342
Rate	0,714	Peau	0,338
Pancréas	0,641	Reins	0,319
Foie	0,520	Appareil respiratoire	0,223

(1) Chossat, *Recherches expérimentales sur l'inanition*, in-4°. Paris, 1843.

Parties perdant plus que la moyenne.		Parties perdant moins que la moyenne.	
Cœur	0,448	Système osseux	0,167
Intestins	0,424	Yeux	0,100
Muscles locomotifs	0,423	Système nerveux	0,019

Un fait fort curieux ressort de ce tableau, c'est la faible déperdition subie par les centres nerveux, même au moment de la mort. On peut dire qu'avant de mourir, ils ont réellement dévoré les autres organes, et c'est à leur intégrité, presque complète, qu'il faut rapporter l'intégrité relative des facultés intellectuelles observée chez quelques hommes inanitiés jusqu'au moment de la mort.

Les troubles physiologiques survenant dans l'abstinence ne sont pas moins intéressants à étudier. La température du corps va s'abaissant graduellement, à mesure que se ralentit le mouvement nutritif. Chossat, expérimentant sur divers animaux, cochons d'Inde, lapins, corneilles, tourterelles, pigeons, poules, a trouvé, comme abaissement quotidien et moyen de la température, 3 degrés, avec dépression plus considérable le dernier jour. Au moment de la mort, la chaleur moyenne du corps tombait à 24°,9.

Normalement le mouvement nutritif se ralentit durant la nuit, et la température, qui en dépend étroitement, tombe chez les animaux à sang chaud d'environ 0°,74; mais durant l'abstinence cette oscillation a été toujours en augmentant sous le rapport de l'amplitude et de la durée, et la dépression thermométrique a atteint 3°,28.

Les sécrétions et excrétions sont intimement liées aussi au mouvement nutritif, puisque leur fonction principale est d'expulser définitivement les produits de la désassimilation ou de favoriser l'absorption des aliments; il est donc fort naturel que durant l'abstinence elles soient diminuées ou supprimées. Le foie cesse de former l'amidon

animal, qui fournit normalement à sa fabrication de sucre (Cl. Bernard). L'urine contient toujours de l'urée, résidu principal de la combustion des substances protéiques des tissus; mais, naturellement, elle en contient de moins en moins.

Le tube digestif se rétrécit; parfois même il s'ulcère par résorption locale de ses éléments anatomiques.

La combustion vitale allant s'éteignant toujours, la respiration, qui lui fournit la quantité nécessaire d'oxygène ou au moins la majeure partie de cet oxygène, fonctionne avec une énergie graduellement décroissante. Les mouvements des muscles se ralentissent. Il en est de même des battements du cœur, dont on a vu le nombre tomber, chez un homme inanitié, à 38 par minute. L'usure et la résorption rapides du tissu même du cœur viennent ici s'ajouter à la dépression nutritive générale.

Les troubles fonctionnels des centres nerveux ont été assez mal déterminés. Ils manquent, parfois, absolument chez l'homme. On a noté pourtant, chez les animaux, de l'insomnie, une période d'agitation d'abord, puis une période de stupeur, enfin de la fureur; chez l'homme, souvent des hallucinations (1).

L'abstinence est naturellement d'autant mieux supportée que le mouvement de la vie est moins énergique. Burdach (2) a curieusement réuni à ce sujet des faits observés chez les animaux les plus divers. Un limaçon n'aurait perdu, après six semaines d'abstinence, qu'un onzième de son poids; des protées auraient pu vivre sans aliments cinq ans, dix ans; des crapauds, deux ans; des poissons dorés de la Chine, plusieurs années; des salamandres, six mois; un crapaud enfermé dans un vase poreux bien clos, et entouré dans ce vase d'une terre saturée

(1) Collard de Martigny, *Journal de Magendie*, t. VIII.

(2) *Traité de physiologie*.

d'humidité, vivait encore, quoique fort amaigri, au bout de deux ans. Il avait été maintenu à une température extérieure à peu près constante (1). Au contraire, les oiseaux, chez qui le mouvement nutritif est intense et rapide, succombent très-vite. Un jour d'abstinence tue un passereau, trois jours une grive, etc. La même loi se vérifie pour un même organisme animal, suivant les divers âges. Ainsi, dans la période moyenne de la vie, l'homme peut résister à une abstinence complète pendant une ou deux semaines. L'enfant succombe beaucoup plus tôt et le vieillard beaucoup plus tard.

Tout ce qui ralentit la vitesse des échanges nutritifs aide à supporter l'abstinence : par exemple, le repos au lit, le sommeil et les substances qui le provoquent.

Sans avoir pour l'animal l'importance primordiale qu'elle a pour le végétal, la lumière solaire est pourtant aussi, dans le règne animal, un puissant excitant de la vie. Aussi, dans l'obscurité, l'abstinence est mieux supportée. Huit mineurs enfermés sans aliments pendant trente-six heures dans une houillère dirent n'avoir pas souffert de la faim.

Néanmoins, chez tous les animaux, la mort arrive un peu plus tôt, un peu plus tard par l'abstinence, et chez tous elle arrive quand l'organisme a perdu une partie de son poids toujours sensiblement la même pour toutes les espèces. Si les animaux dits *à sang froid* durent alors beaucoup plus longtemps que les autres, c'est seulement parce que leur perte diurne est normalement beaucoup moindre. Ils dépensent moins et épuisent par conséquent plus tardivement leur capital.

(1) Cl. Bernard, *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, p. 49.

CHAPITRE VIII

DES AGENTS MODIFICATEURS DE LA NUTRITION

Diverses influences modifient le mouvement nutritif en plus ou en moins, en mieux ou en pire. Ces influences résident soit dans l'organisme lui-même, soit en dehors de lui.

A. On pourrait dire que la nutrition est le but de la vie, si la vie avait un but ; mais elle n'en a aucun, puisqu'elle est simplement la résultante d'un concours fortuit de faits cosmiques, géologiques, climatériques, même orologiques. Elle n'a pas toujours existé à la surface de notre petite planète. Elle s'y éteindra un jour. Mais, si l'on ne peut dire que la nutrition soit le but de la vie, on est tout à fait fondé à dire qu'elle en est la base. Un organisme donné dure, prospère, se développe et se reproduit d'autant plus sûrement qu'il se nourrit mieux, et il se nourrit d'autant mieux qu'il est mieux organisé, c'est-à-dire en plus complète harmonie avec le milieu extérieur. Aussi, comme nous le verrons ci-après, les divers systèmes organiques de tout animal complexe sont ordonnés par rapport à la nutrition. Le fonctionnement spécial de chacun d'eux a pour résultat de rendre la nutrition possible et facile. Il y a là toute une série d'harmonies organiques, que nous aurons plus tard à exposer. Nous verrons qu'il est des systèmes d'organes chargés les uns de rendre les aliments absorbables, les autres de convoyer les substances nutritives jusqu'aux tissus, tandis que certains autres ont pour fonction de ventiler en quelque sorte les éléments anatomiques, de leur fournir de l'oxygène, de les débarrasser de leur acide carbonique. A d'au-

tres enfin est dévolue la charge de débarrasser l'organisme animal des résidus non volatils de la dénutrition, etc.

Mais, pour bien faire comprendre le jeu, l'utilité de ces divers rouages organiques, leur influence sur la nutrition, il est au préalable besoin de les décrire, ce qui viendra en son lieu. Nous voulons seulement signaler ici, en passant, quelques faits intéressants, relatifs à l'influence des nerfs, du système nerveux sur la nutrition; car ces faits trouveraient difficilement place ailleurs.

Il est sûr que la nutrition est, dans une certaine mesure, indépendante du système nerveux. En effet, on la voit s'opérer très-bien chez le végétal, chez les animaux inférieurs dépourvus de système nerveux, chez l'embryon qui n'en a point encore.

Le professeur Schiff a vu l'absorption se faire par la muqueuse stomacale, après la section de la presque totalité des nerfs qui se rendent à l'estomac (1) (plexus solaire détruit, section des filets du pneumo gastrique accolés à l'œsophage).

Claude Bernard a vu, de son côté, que la section des nerfs de l'aile du pigeon n'empêche pas les plumes de pousser.

Mais il est des faits contradictoires curieux. Nous verrons plus loin que le débit, l'afflux du sang dans les canalicules sanguins les plus déliés, dans les vaisseaux capillaires, est réglé par l'influence de filets nerveux spéciaux dénommés pour cette raison *vaso-moteurs*. Sous l'influence de ces nerfs, les vaisseaux capillaires se contractent ou se dilatent; or ces vaisseaux forment un réseau à mailles plus ou moins serrées dans la trame de la presque totalité des organes et des tissus, et l'afflux du plasma sanguin nutritif est plus ou moins abondant suivant que leur

(1) M. Schiff, *Leçons sur la physiologie de la digestion*, 1867, t. II, p. 404.

calibre s'élargit ou se resserre. L'influence des nerfs est donc ici nécessaire. Aussi, si l'on paralyse, par section de leur tronc principal, les nerfs vaso-moteurs d'un organe, on voit que cet organe ne peut plus supporter l'abstinence aussi facilement que les autres. Il semble qu'il se soit accoutumé à une nourriture plus abondante, et, si elle vient à lui faire défaut, il s'enflamme et suppure (1).

Que la paralysie des vaisseaux capillaires, et par suite leur dilatation persistante, occasionne un afflux exagéré de plasma nutritif, c'est ce que prouvent les expériences suivantes du professeur Schiff. Sur un animal mammifère, il a coupé le nerf maxillaire inférieur d'un côté; puis, au bout d'un certain temps, ayant sacrifié l'animal, il a constaté un accroissement de volume de l'os de la mâchoire avec raréfaction du tissu osseux.

Sur un chien de deux mois, le même physiologiste a coupé les deux principaux nerfs de l'un des membres postérieurs, les nerfs sciatique et crural. Quatre mois après, les os du membre étaient hypertrophiés et il s'était formé au pied des productions osseuses nouvelles. Ce résultat est dû à la section et par suite à la paralysie des fibres nerveuses vaso-motrices mêlées aux autres fibres du nerf.

Le même expérimentateur encore a vu la paralysie des fibres vaso-motrices de l'oreille du lapin déterminer une abondante poussée des poils de cette oreille.

B. Le milieu extérieur influe aussi puissamment sur la nutrition par ses principales modalités physiques, notamment par la lumière et la chaleur.

Sans doute la lumière n'a pas, pour les animaux, l'importance primordiale qu'elle a pour les végétaux chlorophylliens. Le règne animal a des représentants au fond de l'Atlantique, à une profondeur de près de

(1) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès de la physiologie générale* p. 215.

2 kilomètres, où ne pénètre jamais un rayon solaire; mais il n'y est représenté que par des animaux inférieurs. Pourtant on trouve, dans la faune des cavernes, des espèces vertébrées ; mais elles sont modifiées, et modifiées en mal, par l'absence de la lumière. Très-habituellement alors les organes de la vue sont atrophiés. En outre, le plus souvent, la peau des animaux des cavernes est dépourvue de pigment coloré, comme on l'a observé sur un poisson aveugle de la caverne du Karstgebirge et sur le *proteus anguinus* de la caverne du Mammouth (1).

Tout le monde sait que l'homme obligé de vivre non pas même dans l'obscurité complète, mais seulement à une lumière diffuse, faible, pâlit, languit, s'étiole. Dans ce cas, comme nous l'avons constaté plus haut en parlant de l'abstinence, les échanges nutritifs se ralentissent.

Pour l'animal, la chaleur est bien autrement importante que la lumière. Sans vouloir aborder encore l'étude de la chaleur animale, nous pouvons dès à présent constater que la vie végétale et animale n'est possible qu'entre certaines limites de température extérieure. Sans doute les animaux, surtout les animaux supérieurs, ne suivent pas avec une docilité aussi parfaite que celle des végétaux la température du milieu extérieur, mais ils ne luttent que dans une certaine mesure. Chez tous les animaux la vie s'éteint quand la température intérieure, celle des éléments anatomiques, reste quelque temps au-dessous de zéro, car alors les humeurs se congèlent. Chez les mammifères supérieurs, la mort arrive même beaucoup plus tôt. L'enfant, dans cet état d'asphyxie lente qu'on a appelé *l'œdème des nouveau-nés,* meurt quand sa température descend aux environs de 20 degrés centigrades (2).

(1) Leydig, *Histologie comparée,* p. 94, 95.

(2) Ch. Letourneau, *Quelques observations sur les nouveau-nés.* 1858. (Thèses de la Faculté de médecine de Paris.)

C'est aussi cette température de 20 degrés que les expériences indiquent comme étant le minimum de la température intérieure. Pourtant la température du sang peut descendre impunément à 2 ou 3 degrés chez un animal hibernant, de même que cet animal peut alors séjourner sans dommage dans un gaz irrespirable; c'est que les échanges nutritifs sont dans ce cas extrêmement ralentis. Les éléments anatomiques peuvent par suite se contenter d'une faible ration nutritive, qui, à une température plus élevée, ne suffirait pas à les maintenir vivants (1).

La limite supérieure n'est pas non plus très-élevée. Un animal à sang froid meurt quand une température de 30 degrés au-dessus de zéro le pénètre jusque dans ses éléments anatomiques. Pour les mammifères, la limite supérieure est 45 degrés; elle s'élève à 50 degrés pour les oiseaux. Sans doute un animal peut vivre un certain temps à ces températures extrêmes, mais un temps très-court, et à la condition que l'atmosphère ambiante soit sèche. Alors, en effet, il se produit par évaporation cutanée un certain degré de refroidissement, qui fait momentanément compensation. Un animal mammifère supporte ainsi quelques minutes durant, dans une étuve sèche, des températures de 80, 100, même 120 degrés, mais cela seulement tant que sa température intérieure ne dépasse pas de plus de 5 degrés la température normale. Il halète d'abord ; puis au bout d'un temps très-court il tombe mort instantanément, sans agonie. Quand une température de 45 degrés a ainsi envahi les éléments anatomiques, le suc musculaire se coagule et l'animal meurt dans cet état qu'on a appelé *rigidité cadavérique*. Un thermomètre rapidement introduit dans le cœur marque alors 45 degrés environ (2).

(1) Cl. Bernard, *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, p. 50-53.
(2) Cl. Bernard, *loc. cit.*, p. 231.

CHAPITRE IX

DES MOYENS DE LA NUTRITION ANIMALE

Tout être organisé est le siége d'un incessant et double mouvement d'assimilation et de désassimilation. Pour que ce double mouvement s'accomplisse, et il est la condition fondamentale de la vie, il faut qu'il soit constamment alimenté par des substances tellement composées, que l'organisme se les puisse incorporer.

Pour la presque totalité des végétaux et pour un certain nombre d'animaux inférieurs, la besogne est relativement simple, puisqu'ils puisent directement et sans préparation dans le milieu ambiant. Pour les animaux supérieurs, les phénomènes se compliquent. Il s'agit alors d'organismes très-diversifiés, où la division du travail physiologique est poussée plus ou moins loin. Mais, dans ce cas, les éléments anatomiques semblent avoir perdu en énergie végétative ce qu'ils ont gagné en finesse. Ils ont besoin pour vivre d'absorber des substances organiques très-élaborées, et, à cet effet, l'organisme est muni d'un appareil spécial, dont l'office consiste à faire en quelque sorte une cuisine physiologique, à modifier les aliments, à leur donner une première façon de transformation chimique, qui les rend plus propres à l'assimilation. Cet appareil est le *système digestif*.

Mais cette élaboration chimique serait inutile si les substances alimentaires, une fois modifiées et transformées en *nutriments*, n'arrivaient point au contact de tous les éléments anatomiques, superficiels ou profonds, dans des conditions physiques et chimiques convenables, si les résidus impropres à entretenir le mouvement vital n'étaient

repris aux éléments au fur et à mesure de leur formation. Un appareil spécial est encore chargé d'apporter à chaque élément anatomique, quelles que soient dans l'organisme la fonction et la situation de cet élément, des matériaux nouveaux, en même temps qu'il enlève, qu'il balaye les résidus nutritifs. Cet appareil est le *système circulatoire*.

De plus, il est une condition *sine quâ non* de l'échange nutritif intime, c'est une incessante ventilation atmosphérique. Toute substance vivante a besoin de se combiner avec l'oxygène de l'air et d'exhaler l'acide carbonique, qui est un des principaux produits de cette combinaison. L'appareil spécial chargé de frayer une entrée et une issue facile aux gaz circulant dans l'organisme complexe a été appelé *système respiratoire*.

Mais l'appareil respiratoire ne saurait guère donner issue qu'à des produits gazeux ; or la dénutrition donne lieu, comme nous l'avons vu, à toute une famille, même à plusieurs familles de produits régressifs, à des sels, à des substances quaternaires. Ces corps sont bien repris aux éléments anatomiques par le système circulatoire, mais ce système serait, à lui seul, tout à fait incapable, du moins dans un organisme très-complexe, de les rejeter définitivement hors des frontières de la fédération histologique vivante, qui constitue tout organisme supérieur. Il faut pour cela des appareils spéciaux, des *glandes excrétoires*.

Pour la clarté de l'exposition, force nous est bien de découper ainsi l'organisme complexe en un certain nombre de grandes divisions ; mais dans la réalité, dans l'être vivant, toutes ces fonctions se lient les unes aux autres, sont indispensables les unes aux autres, et s'exécutent simultanément, à tel point que, pour se bien rendre compte du jeu de l'une d'elles, il est presque nécessaire de connaître celui de toutes. Par conséquent, en les exposant successivement dans l'ordre de notre énumération,

force nous sera de laisser derrière nous, en cheminant, bien des lacunes, bien des points obscurs, que fera seulement disparaître la suite de l'exposition. Enfin, quand nous aurons passé en revue la digestion, la circulation, la respiration, l'excrétion, il nous restera encore, pour achever de décrire les moyens adjuvants de la nutrition, à examiner les organes de la motilité et de l'innervation, qui, tout en étant plus spécialement consacrés à la vie de relation, n'en sont pas moins, pour une part, indispensables à l'exercice des grandes fonctions précédemment mentionnées. Car, chez les organismes complexes, chaque élément anatomique, tout en ayant son existence propre et un certain degré d'indépendance nutritive et fonctionnelle, ne cesse pas néanmoins d'être étroitement et solidairement uni aux autres citoyens histologiques de la confédération. Il y a unité dans la diversité.

Avant d'aborder l'exposition des grandes fonctions physiologiques, nous avons encore à formuler une remarque générale. Des êtres organisés les plus humbles aux êtres les plus élevés, les plus différenciés, il y a toute une hiérarchie graduée. De la confusion physiologique qui existe au bas de l'échelle, on passe peu à peu, par une série d'ébauches organiques de mieux en mieux réussies, à la spécialisation la plus parfaite. Rien n'est plus intéressant que cette sériation d'organes, surtout au point de vue de la grande doctrine de l'évolution, si discutée encore, mais qui vivifie de plus en plus toutes les branches de l'histoire naturelle. Or, quelque succinct que doive être le tableau général de la vie, que nous avons entrepris d'esquisser dans ce livre, il faut pourtant que le lecteur y puisse trouver tous les grands traits, tous les principaux contours du monde animé. Nous tâcherons donc de décrire brièvement, mais clairement, les divers degrés, les progrès successifs de chaque grande fonction dans le monde animal, le seul

où la spécialisation organique ait atteint un haut degré de perfection. En dehors même de toute application à la doctrine de l'évolution, cette manière de faire aura pour résultat de donner de chaque fonction une idée plus complète et plus exacte.

CHAPITRE X

DE L'APPAREIL DIGESTIF DANS LA SÉRIE ANIMALE

La digestion est l'introduction en masse d'aliments dans une cavité organique spéciale, où ces aliments sont analysés, élaborés et absorbés, en laissant ordinairement un résidu qui est ensuite expulsé. On voit que cette fonction n'existe pas normalement dans le règne végétal. Tout au plus faut-il faire une petite exception pour les plantes carnivores. Il est bien intéressant de suivre à travers la série animale la spécialisation de plus en plus parfaite de cette grande fonction.

Chez certains organismes très-inférieurs, chez certains protozoaires, la digestion manque comme dans le règne végétal. Chez la *grégarine*, par exemple, les substances alimentaires sont absorbées à l'état de dissolution par tous les points de la surface indifféremment.



Fig. 7.

Amœba sphærococcus aux divers degrés de son évolution. A, amibe enkystée. Masse protoplasmique (*c*) contenant noyau (*b*) et nucléole (*a*); membrane enveloppante (*d*); B, amibe sortie de la membrane enveloppante; C, amibe commençant à se diviser; D*a* et D*b*, amibe totalement divisée en deux amibes indépendantes.

Chez les amibes, on assiste à la naissance de la fonction digestive. Des parcelles alimentaires s'engluent sur la

surface visqueuse de l'amibe, en un point quelconque de cette surface, puis pénètrent peu à peu dans les parties centrales de cet organisme élémentaire, en s'y creusant en quelque sorte un canal digestif temporaire, qui se referme derrière elles. Enfin l'aliment se dissout ; ses molécules s'incorporent peu à peu à la substance de l'amibe, et le résidu non assimilable est expulsé par un point quelconque de la surface. Le même procédé alimentaire s'observe chez les rhizopodes, avec cette différence que les prolongements visqueux ou pseudopodes de l'animal s'enroulent d'abord autour de la parcelle alimentaire. Les choses se passent encore de même chez l'*actinosphærium*, qui pourtant est déjà un organisme différencié en cellules (fig. 8).

Chez les infusoires *acinètes*, les appendices rayonnants s'appliquent sur la proie, qui d'ordinaire est un autre infusoire, dont la substance molle se laisse liquéfier et passe par les appendices comme à travers des tubes, pour venir enfin s'accumuler en gouttelettes dans le parenchyme de l'animal.

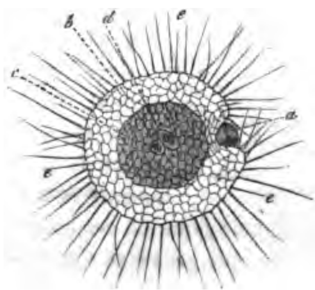


Fig. 8.

Actinosphærium. *a*, fragment alimentaire pénétrant dans la couche corticale; *b*, *c*, parenchyme central ; *d*, boules de nourriture ; *e*, pseudopodes de la couche corticale.

La spécialisation, qui commence seulement à poindre chez les infusoires acinètes, s'accentue chez d'autres animaux de la même classe. Il n'y a point encore d'appareil digestif même rudimentaire; mais il y a un orifice d'entrée spécial et parfois un orifice de sortie spécial aussi. Les aliments pénètrent par l'orifice consacré à cet usage, et qui est muni de cils vibratiles, se frayent un chemin à travers le parenchyme comme précédemment, puis le résidu est ex-

pulsé. C'est ainsi que s'effectue la digestion chez des infusoires fort communs dans les infusions végétales, chez les *paramécies* (fig. 9).

Chez les jeunes éponges, il y a une cavité permanente qui est aussi la cavité générale du corps. Cette cavité, qui d'abord n'avait aucun revêtement spécial, se tapisse ensuite de cils vibratiles et se ramifie en canaux anastomosés par lesquels circulent les matières alimentaires. C'est, comme on le voit, une ébauche de système digestif et de système circulatoire encore confondus (nardon). Chez d'autres éponges, il y a une bouche, un canal et de fines ramifications débouchant à la surface de l'animal par des orifices plus petits (sycon, etc.).

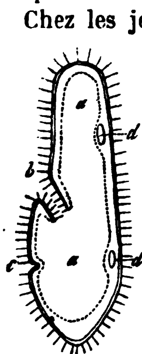


Fig. 9.
Schéma de la cavité digestive chez le *paramæcium*. *a*, cavité du corps remplie de protoplasme mou ; *b*, ouverture buccale ; *c*, anus ; *d*, *d*, cavités contractiles.

Gegenbaur, que nous suivons principalement dans cette description (1), place après les éponges les animaux inférieurs auxquels lui et Hæckel ont donné le nom de *cœlentérés* (κοῖλος, ἔντερον). La caractéristique morphologique de ces animaux est un corps à cavité constante, qui peut être considérée comme une cavité digestive, parfois mal différenciée d'ailleurs, puisque le polype d'eau douce, par exemple, si on le retourne en doigt de gant, en le maintenant ainsi retourné à l'aide d'un fil, peut digérer avec ce qui était auparavant sa surface extérieure. Pourtant, chez beaucoup d'hydraires, on voit déjà s'accuser la division du tube digestif en trois parties, une portion œsophagienne, une portion dilatée et une portion rétrécie se terminant en cæcum.

Les êtres organisés vivent comme ils peuvent, deviennent ce que leur permettent de devenir les circonstances,

(1) Gegenbaur, *Manuel d'anatomie comparée*.

et tous les procédés sont bons à ce que l'on appelle la Nature, pourvu qu'ils atteignent leur but. Ainsi les polypes hydraires, vivant en colonies, ont un tube intestinal commun, se prolongeant à travers toute la tribu, et réalisent ainsi le communisme social le plus parfait.

Dans les colonies de *siphonophores*, la spécialisation a pris une forme plus étrange encore. Il s'y est établi une division en castes, comme dans nos anciennes sociétés humaines; seulement ici il s'agit d'une caste physiologique. Certains membres de la colonie se sont spécialement adaptés à la fonction digestive. Ils ont, pour cela, pris la forme de sacs dilatables et sont en communication par le fond avec la cavité digestive commune à toute la tribu.

Chez les méduses et aussi chez les actinies, il y a encore confusion des systèmes digestif et circulatoire, se résumant en une cavité médiane, d'où partent des canaux qui se réunissent sur le bord de l'ombrelle pour former un canal circulaire (fig. 10).

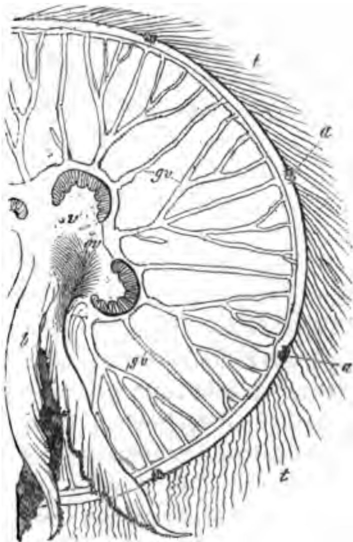


Fig. 10.
Moitié d'*aurelia aurita*, vue en dessous. *a*, corpuscules marginaux; *t*, tentacules marginaux; *b*, bras buccaux; *v*, cavité stomacale; *gv*, canaux du système gastro-vasculaire, qui se ramifient vers les bords et se jettent dans le canal circulaire; *ov*, ovaires.

Les *bryozoaires* ont une bouche entourée de tentacules, un intestin élargi, parfois muni de saillies dentiformes, destinées à la mastication. Parfois il

existe une sorte d'estomac avec orifices d'entrée et de sortie (cardia et pylore). Chez l'annélide, on trouve un tube digestif à peu près complet, à deux orifices. Le tube digestif du lombric a une portion musculaire puissante, utile à un animal qui se nourrit de l'humus du sol.

Chez les *tuniciers*, on rencontre un œsophage, une portion élargie, stomacale, et un rectum. La bouche est souvent au fond d'un large sac, dont les parois servent en même temps à la respiration. C'est un autre mode de confusion physiologique. Nous avons mentionné plus haut des tribus d'animaux ayant un intestin commun; les ascidies composées n'ont plus qu'un cloaque commun, où se réunissent tous les anus de la colonie.

La différenciation fait en avant un pas assez important chez les bryozoaires et les tuniciers. L'élaboration des aliments y est devenue plus complexe, comme le prouve l'apparition de sacs glandulaires isolés encore, rudimentaires.

Dans un certain groupe d'*échinodermes*, le progrès continue : tantôt les bords buccaux, durcis, jouent le rôle d'appareils masticateurs; tantôt (échinoïdes) il y a des appareils compliqués de mastication. En outre, une sécrétion spéciale se fait à la face interne de l'intestin, où l'on remarque un revêtement de cellules colorées.

Les astéroïdes proprement dits sont sans anus et ont un estomac étoilé comme leur corps. L'intestin est, en effet, muni d'appendices cæcaux s'étendant par paires dans chaque rayon (fig. 11).

Chez les oursins et les holothuries, il y a une bouche, des dents, des mâchoires, un intestin distinct, un anus (1).

Dans la grande classe des *arthropodes* (crustacés, arachnides, myriapodes, insectes), il existe un appareil digestif

(1) Dugès, *Physiologie comparée*.

régulièrement et définitivement constitué (fig. 12). Souvent, surtout chez les crustacés et les insectes, l'épithélium intestinal est revêtu d'une couche dure de chitine émettant parfois des saillies destinées à broyer les aliments. Chez les crustacés, certaines parties antérieures deviennent des pièces buccales. Le système glandulaire s'enrichit et se diversifie. Les crustacés ont un foie volumineux, plein d'un suc jaune-verdâtre et amer. Ce foie se décompose en

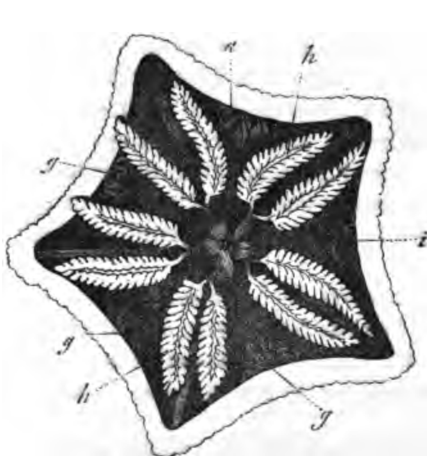


Fig. 11.

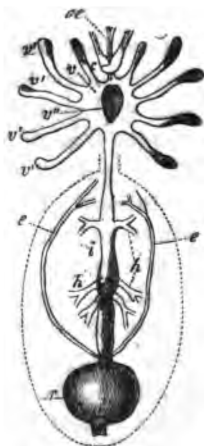


Fig. 12.

Fig. 11. *Astericus verruculatus,* ouvert par la face dorsale. *a,* anus; *i,* estomac élargi en forme de rosette; *h,* appendices rayonnants et tubulaires de l'intestin; *g,* glandes génitales.

Fig. 12. Organes digestifs d'une araignée. *œ,* œsophage; *c,* ganglion œsophagien supérieur, cérébroïde; *v,* estomac; *v',* prolongements latéraux; *v'',* appendices dirigés en dessus; *i,* intestin moyen; *r,* extrémité intestinale élargie en cloaque; *hh',* ouvertures du foie dans l'intestin; *e,* canaux urinaires.

cylindres rameux (1). La plupart des insectes ont aussi des glandes œsophagiennes tubulées, enroulées, lobées, ramifiées, que l'on a supposées salivaires. D'autres glandes, formant des sacs tubulaires simples ou ramifiés, débou-

(1) Dugès, *loc. cit.*

chent dans l'intestin moyen; on a supposé qu'elles représentaient le foie des animaux supérieurs. Il y a encore, chez les insectes, une certaine confusion dans la sécrétion. Dans les longs tubes grêles et flexueux, qui s'insèrent ordinairement en deux points distincts de l'intestin, et qu'on appelle les *vaisseaux de Malpighi,* il se sécrète, à côté de l'urine, une autre matière probablement de nature biliaire. Les canaux jaunâtres représenteraient les canaux biliaires (1).

Chez beaucoup d'arthropodes, on remarque déjà que l'alimentation influe beaucoup sur la forme et la dimension de l'appareil digestif. Les animaux carnivores ont un tube digestif notablement plus court. La larve du papillon, qui fait une énorme consommation d'aliments, a un intestin fort large, tandis que le papillon, qui mange peu et seulement des aliments liquides, a un tube digestif long et grêle.

Certains insectes (bombyx, éphémères, œstres), qui étaient très-voraces à l'état de larves, sont, à l'état adulte, privés d'organes de manducation. Totalement destinés à la génération, ils ne peuvent se nourrir, d'où la courte durée de leur vie (2).

Si l'on excepte les *brachyopodes,* dont l'intestin se termine en un cæcum imperforé, les *mollusques* ont un système digestif très-complet, et comparable, dans une certaine mesure, à celui des vertébrés. Chez les *céphalopodes,* on trouve un long œsophage, un estomac élargi, un intestin avec circonvolutions, et un rectum. Chez la *littorine,* on observe une disposition de l'estomac qui existe chez certains vertébrés; il y a une partie cardiaque et une partie pylorique, séparées par un repli saillant. Parfois

(1) Leydig, *loc. cit.*, p. 336.— Dugès, *Physiologie comparée,* t. III, p. 400.

(2) Dugès, *loc. cit.*, p. 279.

l'estomac est muni de crochets triturants de forme variée. Mais c'est surtout par le développement des appendices glandulaires que l'estomac des mollusques se distingue de celui des animaux hiérarchiquement inférieurs. Ces organes vont, en effet, se perfectionnant, se compliquant de plus en plus dans les diverses familles de mollusques, et chez les plus élevés des mollusques, chez les céphalopodes aquatiques (Cuvier), il y a des glandes salivaires œsophagiennes en cæcums courts, un foie développé, compacte, divisé en lobes, pourvus chacun d'un conduit excréteur, et tous ces conduits s'ouvrent ensemble ou séparément à l'origine de l'intestin moyen ou dans l'estomac. Le foie des mollusques fonctionne essentiellement comme celui des vertébrés. Cette glande est, dans cette classe, très-volumineuse, et elle fabrique du sucre aux dépens du sang, quoique ce liquide soit dépourvu de globules chez les mollusques.

Au point de vue de la forme générale du tube digestif proprement dit, les vertébrés se rapprochent beaucoup des mollusques. Pourtant le degré de spécialisation organique est chez eux plus élevé encore. Ainsi la cavité buccale, non divisée chez les poissons et les amphibiens, commence chez les reptiles à se sectionner en deux étages, un étage nasal ou aérien et un étage buccal ou digestif.

Des dents cornées, analogues aux appendices du même genre existant chez les animaux inférieurs, se retrouvent encore sur l'orifice buccal en forme de ventouse des cyclostomes. Les amphibiens ont aussi des organes analogues sur le bord de leurs mâchoires.

Chez les poissons *ganoïdes* et *téléostiens*, il y a des dents sur les mâchoires, les os palatins, le vomer, l'os hyoïde et les arcs branchiaux; les *sélaciens* n'en ont déjà plus que sur les mâchoires (fig. 14).

Les dents des poissons, des amphibiens, des reptiles tombent et se renouvellent pendant toute la durée de la vie.

Les trois divisions du tube digestif proprement dit se perfectionnent aussi peu à peu, à mesure que l'animal s'élève dans la hiérarchie des vertébrés.

Chez les poissons, la première partie du tube digestif se continue directement avec l'estomac, sans différence de diamètre (fig. 3). Cette première portion, ou portion œsophagienne, ne se distingue de la portion stomacale que par des

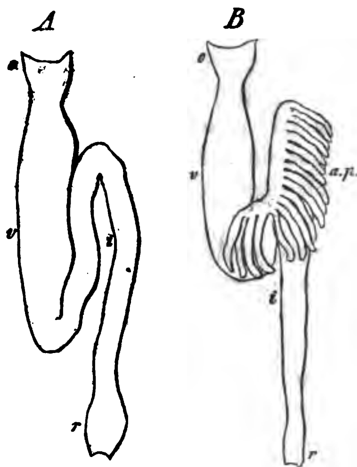


Fig. 13.

Tube digestif des poissons. A, *gobius melanostomus*. B, *saumon*. *o*, œsophage; *v*, estomac; *i*, intestin moyen; *ap*, appendices pyloriques; *r*, rectum.



Fig. 14.

Ouverture buccale du *petromyzon marinus* avec dents cornées.

caractères tirés de la structure de la muqueuse. Sa fonction est, du reste, mal spécialisée encore. En effet, à son origine, dans la portion qu'on pourrait appeler *pharyngienne*, la cavité est en partie circonscrite par les arcs branchiaux et a, par conséquent, des usages respiratoires.

Le protée (amphibien) a une conformation plus inférieure encore; il n'y a même plus trace chez lui de dilatation stomacale.

La première portion du tube digestif des oiseaux est caractérisée par diverses dilatations : la première, annexée à l'œsophage, est le jabot. Deux autres divisions sont plus spécialement stomacales; ce sont le *gésier*, très-riche en glandes, puis une autre dilatation très-musculaire, surtout chez les granivores, et qui est parfois revêtue d'une couche cornée. Cette dernière poche remplit surtout un rôle mécanique.

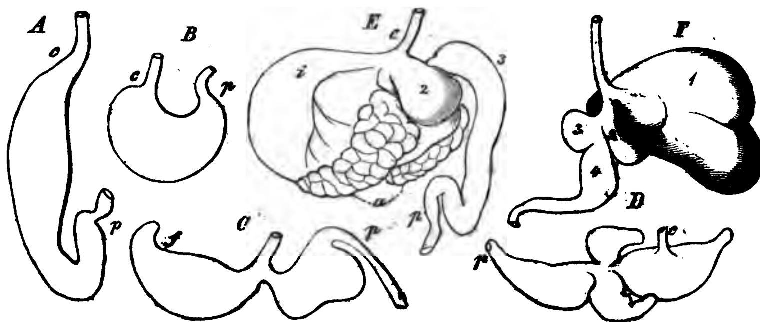


Fig. 15.

Estomacs de divers mammifères. A, *phoque*. B, *hyène*. C, hamster. D. *lamentin*. E, *chameau*. F, *mouton*. 1, panse; 2, bonnet; 3, feuillet; 4, caillette. — *c*, cardia; *p*, pylore.

C'est seulement chez les mammifères que l'estomac devient régulièrement transversal (fig. 15). En même temps il s'est élargi, et ses parois n'ont pas partout la même structure. On y distingue, comme chez l'homme, une portion *cardiaque* succédant à l'œsophage, et une portion *pylorique* débouchant dans l'intestin. Mais, dans certaines familles de mammifères, la division n'est pas seulement, comme chez l'homme, caractérisée par une différence de structure. Tout le monde connaît l'estomac à quatre loges des

ruminants, la *panse*, le *bonnet*, le *feuillet* et la *caillette*, cette dernière division étant plus spécialement chargée de la sécrétion du suc gastrique (fig. 15, F).

L'estomac des vertébrés débouche dans l'intestin proprement dit, ou plutôt dans la première partie de cet intestin, dans le duodénum, et se continue avec l'*intestin grêle*. Il en est pourtant nettement séparé par un repli membraneux appelé *valvule du pylore*.

Dans sa région la plus voisine de l'estomac, l'intestin reçoit les conduits excréteurs de deux glandes des plus importantes, du *foie* et du *pancréas*. L'intestin moyen ou grêle est, à quelques exceptions près, plus long chez les vertébrés herbivores que chez les carnivores. Il y a des exceptions à cette règle, mais elles sont plus apparentes que réelles; alors, en effet, le développement en largeur vient habituellement compenser le défaut de longueur. La taupe, les cétacés, quoique carnivores, ont des intestins fort longs, mais en même temps fort étroits.

Les chenilles ont un tube intestinal qui n'est guère plus long que leur corps, mais qui n'est guère moins large.

La portion dernière du tube digestif, le *gros intestin*, ne se développe véritablement en longueur et en largeur que chez les *amphibies*. A partir des reptiles, le gros intestin est généralement pourvu sur son trajet d'une dilatation dite *cæcum*, beaucoup plus développée chez les herbivores que chez les carnivores.

Dans la terminaison de l'intestin on remarque encore une inégale différenciation dans les divers groupes vertébrés. Chez les sélaciens, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères monotrèmes, le gros intestin s'ouvre dans une cavité appelée *cloaque*, où débouchent aussi les conduits urinaires et les conduits génitaux.

Nous n'avons pas ici à faire une description détaillée de la structure du tube digestif, et nous nous bornerons à

rappeler que, chez les vertébrés, ses parois se composent fondamentalement de trois tuniques emboîtées l'une dans l'autre et intimement reliées entre elles. Ce sont, de dedans en dehors, une membrane muqueuse, parfois hérissée de houppes ou *villosités* (fig. 16), tapissée en outre par des cellules comparables aux cellules de l'épiderme et appelées *cellules épithéliales;* une couche musculaire dont les éléments contractiles sont en partie longitudinaux, en partie disposés en anneau autour du tube digestif; une couche de tissu cellulaire, qui donne une surface d'insertion aux éléments contractiles et au canal un degré suffisant de solidité et de résistance. Il faut noter que les houppes villeuses qui garnissent la face interne de la muqueuse stomacale et intestinale, au nombre de plusieurs milliers par pouce carré chez l'homme, manquent chez les invertébrés. Enfin, à l'appareil digestif sont annexées des glandes, les unes volumineuses, ayant leur corps en dehors de la paroi digestive, que traversent seulement leurs conduits sécréteurs, les autres logées dans l'épaisseur même de cette paroi.

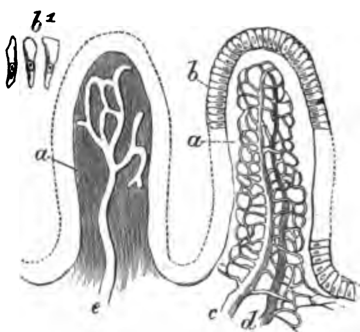


Fig. 16.
DEUX VILLOSITÉS DU PETIT INTESTIN, grossies d'environ 50 diamètres.

a, substance des villosités; *b*, son épithélium, dont on voit quelques cellules détachées en *b'*; *c, d*, artère et veine avec leur réseau capillaire de communication qui enveloppe et cache *e*, racine lymphatique ou chylifère, occupant le centre de la villosité et s'ouvrant à sa base dans un réseau de vaisseaux lymphatiques.

Pour en finir avec la description morphologique très-générale du tube digestif, il nous reste à dire quelques mots de ces glandes.

Des glandes de l'appareil digestif.

C'est surtout par l'appareil glandulaire que le système digestif des vertébrés en général et des mammifères en particulier se distingue de celui des animaux inférieurs. Les glandes digestives sont, en effet, plus nombreuses, plus différenciées quant à la fonction et d'une structure plus complexe.

Les glandes salivaires sont nombreuses, en grappes grenues et serrées. Déjà, chez la tortue, on trouve sous la langue une paire de glandes, qui sont vraisemblablement des glandes salivaires. Il en existe d'analogues, mais plus grosses encore, chez les oiseaux. Chez les mammifères, on les distingue en trois couples, les glandes *maxillaires, sublinguales* et *parotidiennes*. C'est chez les mammifères herbivores que les trois paires de glandes salivaires atteignent leur plus gros volume, et nous verrons que ce fait est en rapport avec le genre d'alimentation.

Comme l'a montré Claude Bernard, ces glandes salivaires, tout en étant fort analogues entre elles, sécrètent des salives de diverses espèces. En général, les glandes salivaires manquent chez les animaux aquatiques.

Dans les glandes salivaires, les organes de la sécrétion, les éléments glandulaires, sont agglomérés; mais, dans l'estomac des vertébrés supérieurs, ces éléments sont séparés et cachés dans l'épaisseur de la muqueuse. On les y trouve, d'ailleurs, en nombre immense; ce sont des glandes en cul-de-sac, séparées les unes des autres seulement par une mince couche de tissu cellulaire. Ces petites glandes sont là en rapport avec des vaisseaux capillaires nombreux, avec des filets nerveux. En dehors des glandules de l'estomac, il en est beaucoup d'autres, parsemées dans toute l'étendue du canal digestif. Elles affectent des formes variables : tantôt ce sont de simples enfoncements, des pe-

tites bourses, des petits tubes; parfois elles se ramifient.

Mais l'appendice glandulaire le plus important du canal digestif des vertébrés est sûrement le foie.

Chez le vertébré le plus inférieur, celui qui relie dans une certaine mesure les vertébrés aux mollusques, chez l'*amphioxus*, le foie est représenté seulement par un cæcum de teinte verdâtre, rappelant les culs-de-sac simples, courts, non ramifiés, qui semblent jouer le rôle de foie chez les invertébrés. C'est d'ailleurs sous une forme analogue, sous la forme d'un cône pointu, que le foie prend naissance chez les reptiles, chez les oiseaux et les mammifères (1). Chez les mammifères supérieurs, le foie, très-volumineux, est constitué essentiellement, abstraction faite du tissu cellulaire, des vaisseaux et des nerfs, d'abord par des cellules spéciales, chargées, comme nous l'avons vu, de fabriquer une matière glycogène. Ces cellules sont irrégulières, arrondies ou polygonales, à noyau simple ou double avec nucléole (fig. 18 et 19). Leur contenu, finement granuleux, peut renfermer accessoirement des granules de graisse.

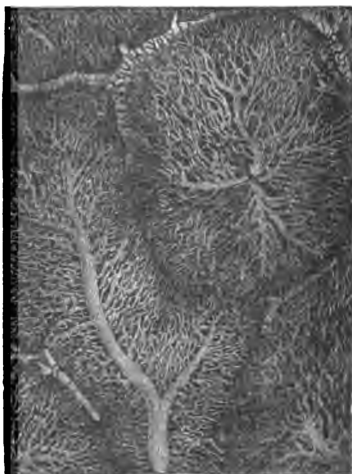


Fig. 17.
Réseau capillaire du foie injecté depuis les veines sus-hépatiques.

Entre ces cellules passent de très-fins capillaires, émanant

(1) Leydig, *loc. cit.*, p. 401-410.— Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 752.

du gros tronc veineux ou veine porte venant de l'intestin (fig. 17). Telle est, schématiquement, la structure élémentaire de l'organe hépatique glycogène, formant à lui seul la majeure partie du foie. Mais, à côté de cet organe formateur de sucre, que l'on doit considérer comme une glande sans conduit excréteur, une glande sanguine, il est un autre organe sécréteur de la bile, constituant, schématiquement aussi, une glande en grappe. Ce sont de petits groupes de cæcums glandulaires, agglomérés en feuilles de fougère et dispersés le long des branches d'un conduit excréteur

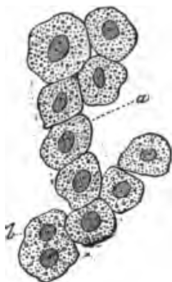


Fig. 18.

Cellules du foie isolées; *a*, à noyau simple; *b*, à noyau double.

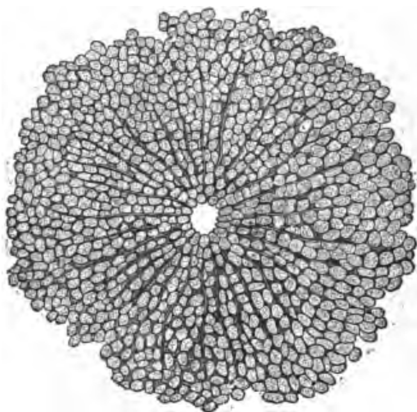


Fig. 19.

Arrangement des cellules du foie dans un lobule coupé transversalement, avec la section de la veine hépatique au centre.

très-ramifié, dans lequel ils s'ouvrent et sécrètent. La paroi des glandes et des conduits est tapissée par des cellules épithéliales de diverse forme.

Entre les éléments glycogènes et les éléments biliaires il y a seulement un rapport de juxtaposition. Les vertébrés supérieurs nous offrent donc ici un exemple de confusion organique, comme on en trouve tant chez les ani-

maux inférieurs. Chez eux le foie s'est séparé des glandes rénales, avec lesquelles il est confondu chez certains invertébrés; mais il reste encore accolé à la glande glycogénique. Si, comme le pensent quelques partisans de la doctrine de l'évolution, le vertébré supérieur actuel n'est pas encore le dernier terme du progrès et de la différenciation organiques sur la terre, les deux appareils glandulaires hépatiques pourraient se séparer, dans l'avenir, chez l'être plus parfait qui lui succéderait.

Le conduit biliaire hépatique ou *canal cholédoque* débouche dans la première portion de l'intestin grêle ou

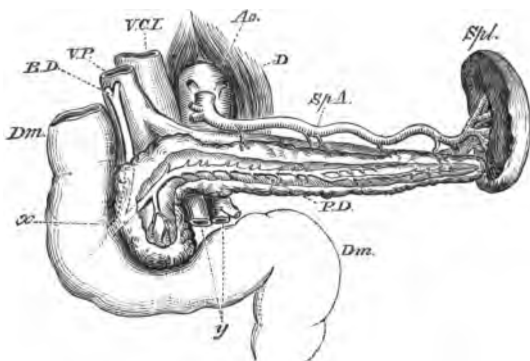


Fig. 20.

La rate (*Spl*) et l'artère splénique (*SpA*). On voit au-dessous la veine splénique, qui concourt à former la veine-porte (*Vp*) ; *Ao,* l'aorte ; *D,* un pilier du diaphragme ; *PD,* canal pancréatique vu à l'aide d'une dissection du pancréas ; *Dm,* le duodénum ; *BD,* conduit biliaire s'ouvrant dans le canal pancréatique en *x* ; *y,* vaisseaux de l'intestin.

duodénum. Dans cette même région, et tout près de l'orifice du canal cholédoque, s'ouvre, chez l'homme, le principal canal excréteur d'une autre glande en grappe très-importante, formée aussi de petites grappes ou *acini,* dont chaque diverticule est terminé en cul-de-sac. Elle est

aussi tapissée de cellules épithéliales. Nous aurons à parler du rôle digestif de cette glande dite *pancréatique*.

Chez certains vertébrés, le canal pancréatique s'ouvre à une certaine distance du canal hépatique, mais, généralement, au-dessous, de 30 à 50 centimètres environ (lapin, lièvre, castor, porc-épic, autruche).

La glande pancréatique existe déjà chez les vertébrés les plus inférieurs, chez les poissons ; mais elle y est généralement plus petite, d'une structure plus simple. Ses culs-de-sac sont plus larges, plus ou moins indépendants. Le pancréas de divers vertébrés (lézard, etc.) est soudé à la rate, comme, chez les mammifères supérieurs, la glande biliaire est soudée à la glande glycogène. Un degré de confusion glandulaire plus grande encore s'observe chez la *chimère monstre,* où le pancréas est en même temps soudé à la rate et au foie.

Après le pancréas, nulle grosse glande à signaler dans le reste du tube digestif. Il n'y a plus que des petites glandes muqueuses semées çà et là. Nous en avons déjà dit quelques mots et nous aurons à indiquer le rôle qu'elles jouent en traitant de la digestion.

CHAPITRE XI

DE L'ALIMENTATION EN GÉNÉRAL

Soit que les animaux absorbent les substances organiques complexes, en nature, après de simples modifications isomériques, soit que, en dernière analyse, ils les résolvent en leurs éléments ultimes, toujours est-il que les substances les plus complexes sont en même temps les plus facilement assimilables et aussi celles qui ont une plus grande valeur alibile.

Les principes constituants les plus importants des éléments anatomiques animaux sont chimiquement formés par des composés quaternaires azotés, et il est indispensable que des principes analogues se retrouvent en notable quantité dans leurs aliments ; or nous savons que ces substances quaternaires sont en quantité relativement faible dans les végétaux, que, de plus, elles y sont associées à des substances minérales. C'est donc au règne animal lui-même que les animaux doivent surtout emprunter leur nourriture. « Mangez-vous les uns les autres » est pour eux une règle nutritive des plus impérieuses. Il en est pourtant qui sont herbivores, mais alors ils doivent, comme les ruminants, avoir un tube digestif complexe, différencié, un alambic nutritif perfectionné.

La plupart des animaux inférieurs, dont nous avons brièvement décrit le tube digestif rudimentaire, sont astreints à peu près exclusivement à une nourriture animale. Nombre d'entre eux d'ailleurs sont des animaux marins, c'est-à-dire vivant au sein d'une vaste dilution organique, pleine de détritus dissous, dilués ou fragmentés. Force est bien, à ceux d'entre eux qui sont fixes, aux po-

lypes, aux cirrhipèdes, même aux mollusques bivalves, de se borner à humer au passage les molécules organiques dissociées, ou parfois les animalcules, que le milieu aqueux leur apporte. Certains aident le hasard, en faisant passer incessamment un courant d'eau dans leurs cavités digestives.

En résumé, la plupart des animaux invertébrés vivent de substances animales, en exceptant toutefois la majorité des insectes; mais ces derniers ont d'ailleurs un système digestif complet, déjà différencié, à l'âge adulte. A l'état de larve, au contraire, ils se nourrissent souvent de matières animales. Les poissons, les reptiles même, sont encore pour la plupart carnivores. Il faut arriver aux oiseaux et aux mammifères pour trouver *des groupes importants d'espèces animales* se nourrissant habituellement de végétaux.

Un fait général, étrange à première vue, ressort de l'examen comparatif du système digestif chez les herbivores marins, quelle que soit leur place dans la hiérarchie animale. En effet, chez les animaux terrestres, le tube digestif herbivore est plus différencié, plus complexe, muni de poches gastriques, de cæcums plus nombreux et plus vastes que ne l'est le tube digestif carnivore. Le porc-épic a jusqu'à quatorze cavités stomacales (1). Or c'est précisément le contraire qui s'observe chez les animaux aquatiques, où l'on voit l'alimentation herbivore coïncider généralement avec un système digestif simplifié. Ainsi il n'y a même pas de renflement stomacal chez le cyprin herbivore; et il en est de même chez le têtard. Les cétacés herbivores (lamantin, dugong, etc.) n'ont qu'un estomac à simple ou à double dilatation, tandis que les cétacés carnivores (dauphin, baleine, etc.) ont trois, qua-

(1) J.-W. Draper, *Human Physiology*, etc., p. 59.

tre, cinq estomacs, et le squale pèlerin plusieurs cavités stomacales.

L'explication de ce paradoxe anatomique nous paraît facile à donner. Le principe général n'est pas que tout herbivore doive avoir un estomac plus complexe, mais que tout animal possède un système digestif d'autant plus différencié que son alimentation est plus variée ; or, dans les milieux aquatiques, la flore est peu diversifiée. Elle se compose presque uniquement d'algues, végétaux d'une structure fort simple, de consistance molle, d'une composition chimique partout à peu près identique. L'appareil digestif des herbivores marins n'a donc à accomplir qu'un travail uniforme, d'une simplicité relative, tandis qu'au contraire la faune aquatique étant extrêmement variée, l'alimentation qu'elle fournit lui ressemble et nécessite par conséquent un système digestif apte à rendre absorbables des aliments fort dissemblables entre eux.

La variété alimentaire semble même être une nécessité pour certains herbivores, et Magendie a vu des lapins ne vivre que quinze jours, c'est-à-dire mourir d'inanition, quand on les astreignait à ne manger qu'un seul des végétaux qui constituent leur alimentation ordinaire (carottes, choux, orge, etc.).

D'ailleurs, il faut bien se garder d'attacher une valeur absolue aux dénominations d'*herbivores* et de *carnivores*. Comme le fait remarquer M. Schiff dans son beau *Traité de la digestion* (1), il n'y a pas de différence essentielle entre le suc gastrique des herbivores et celui des carnivores. L'un et l'autre désagrègent les aliments végétaux ou animaux, l'un et l'autre dissolvent les substances albuminoïdes et tout ce qui est soluble dans l'eau acidulée. Le suc gastrique herbivore est seulement un peu moins

(1) T. II, p. 183, 184.

actif et, à poids égal, il digère moins de matières albuminoïdes que le suc gastrique carnivore. Mais, en faisant absorber à un lapin, soit par le sang, soit par l'estomac, diverses substances solubles (peptogènes), qui ont la propriété de rendre le suc gastrique plus actif, on arrive à faire fonctionner un estomac de lapin comme le ferait un estomac de chien ou de chat. Dans tous les cas, les peptones préparées aux dépens de l'albumine par un estomac d'herbivore sont directement assimilables par les tissus d'un carnivore, et si on les injecte soit dans son estomac, soit directement dans ses veines, elles sont parfaitement absorbées et on ne les retrouve pas dans les urines, comme il arrive pour toute substance non assimilée.

L'identité du procédé et du résultat de la digestion chez les herbivores et les carnivores étant démontrée, il n'y a pas à s'étonner de la facilité avec laquelle un herbivore peut devenir carnivore, et inversement.

Les herbivores surtout s'accoutument sans beaucoup de peine au régime animal. Organisés pour le plus, il leur en coûte peu de se plier au moins.

Nombre de faits de ce genre ont dans la science une notoriété presque banale. Spallanzani avait accoutumé un pigeon à manger de la viande, et cela au point qu'il refusait ensuite les graines.

Les vaches et les chevaux d'Islande se nourrissent volontiers de poissons secs. On a vu des chevaux et des bœufs, habitués à se nourrir de poissons, entrer dans l'eau pour pêcher eux-mêmes (1). D'ailleurs, tous les mammifères herbivores sont nécessairement carnivores pendant la période d'allaitement. Aussi, durant cette période, le *rumen* des ruminants n'est pas encore développé (2).

(1) Burdach, *Physiologie*, t. IX, p. 241.
(2) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 748.

Parmi les carnivores, les plus robustes, les plus typiques refusent parfois absolument la nourriture végétale. Le tigre, le lion, l'aigle se laissent habituellement mourir de faim plutôt que d'y toucher. Pourtant Spallanzani avait aussi accoutumé un aigle à manger et à digérer du pain.

Le plus souvent on peut vaincre les répugnances natives en appelant l'art culinaire à son secours. C'est, d'ailleurs, en très-grande partie à cette raison que l'homme doit son caractère omnivore. Le chien et le chat ne mangent pas le blé, mais ils mangent fort bien le pain. Le lapin refuse la viande crue en gros morceaux, mais il accepte et digère fort bien la viande hachée ou bouillie.

Certains animaux sont à la fois carnivores et herbivores, comme nombre d'oiseaux. D'autres sont frugivores l'hiver et insectivores l'été. Des petits singes frugivores mangent des insectes et recherchent avidement les œufs et les petits oiseaux à peine éclos (1).

D'autre part, des espèces animales très-rapprochées dans la taxinomie diffèrent par leur mode d'alimentation. Les polypes, comme la plupart des animaux inférieurs, se nourrissent d'ordinaire exclusivement de matières animales. Les hydres mêmes rejettent habituellement les substances végétales, que leur organisation rudimentaire ne leur permet pas d'assimiler; mais la *tubularia gelatinosa* se nourrit néanmoins des fleurs et des graines de la lentille d'eau.

Parmi les coléoptères, les plantigrades, les cétacés, certains genres sont carnivores et d'autres du même groupe sont herbivores, etc.

Nous avons déjà dit plus haut que, dans l'abstinence,

(1) M. Schiff, *Digestion*, t. II, p. 187.

tout animal devient carnivore. Il consomme ses propres tissus et même son estomac se charge aux dépens de ces tissus d'un suc gastrique carnivore destiné aux aliments absents. (L. Corvisart.)

Avant de terminer ce tableau fort incomplet, il ne sera pas inutile de dire quelques mots de la géophagie.

Les lombrics, les naïdes avalent l'humus du sol; cet humus est pétri par une sorte de gésier musculeux, probablement dilué par une sécrétion, et le résidu est rejeté en cordons pulpeux. Suivant Swammerdam, la larve de l'éphémère ne mange que de l'argile. Sa couleur même varierait avec celle de l'argile.

Chez ces êtres inférieurs, la géophagie s'explique d'ailleurs très-facilement. L'humus végétal, que mangent les lombrics, l'argile humide, qu'avalent aussi les larves d'éphémères sur la berge des fleuves où elles gîtent, contiennent une grande quantité de détritus organiques et de sels solubles, qui seuls sont absorbés. On comprend plus difficilement la géophagie chez l'homme, et pourtant, en dehors des cas pathologiques, il en est de nombreux exemples.

Les Otomaques mangent ou plutôt mangeaient chaque jour une livre et demie d'une argile grasse et ferrugineuse.

Spix et Martius (1) ont observé des cas analogues chez diverses tribus des bords de l'Amazone. D'après Labillardière, les Néo-Calédoniens mangeaient, mais seulement en cas de disette, une stéatite blanche et friable, etc.

On peut bien admettre que l'estomac humain, comme celui du lombric, puisse séparer de certaines substances minérales des débris organiques et des sels, mais en bien faible quantité, et il est vraisemblable qu'ici la géopha-

(1) *Reise in Brasilien*, t. II.

gie ne joue qu'un rôle alimentaire fictif. Elle distend simplement l'estomac, en neutralise plus ou moins le suc gastrique, et procure mécaniquement l'épuisement du sentiment de la faim, comme le fait, par exemple, l'acide carbonique ou un gaz inerte quelconque.

CHAPITRE XII

DE LA DIGESTION

A. L'objet de la digestion est la préparation de substances assimilables. Les procédés sont la division mécanique, suivie de la transformation chimique des aliments. En dernière analyse, l'absorption ne s'exerce que sur des substances liquéfiées et dissoutes.

La vraie digestion n'existe donc pas chez les êtres rudimentaires, non différenciés, qui forment le premier échelon du monde animal. Elle existe à un degré inférieur chez les animaux à tube digestif simple, n'ayant ni à l'orifice du canal alimentaire, ni dans un point quelconque de sa cavité, d'organes propres à déchirer, dilacérer, broyer les aliments, et ne pouvant guère s'assimiler facilement, par conséquent, que des aliments liquéfiés en dehors de leur organisme.

Chez les animaux munis de dents buccales, pharyngiennes, ou d'appareils qui en tiennent lieu, il existe aussi d'ordinaire un appareil glandulaire spécial, chargé de rendre plus facile la trituration alimentaire, en imbibant les aliments d'un liquide dit *salivaire*. D'une manière plus générale, on peut dire qu'une salive quelconque existe souvent quand il y a un appareil de préhension des aliments. Ainsi la mouche dégage, sur les parcelles qu'elle veut aspirer avec sa trompe, un liquide brunâtre qui les dilue. Naturellement la salive est d'autant plus abondamment sécrétée que l'aliment habituel est plus dur. Aussi la salive est nulle ou rare chez les animaux aquatiques, quels qu'ils soient (crustacés, poissons, crocodiles, oiseaux palmipèdes, cétacés carnivores). Elle est, au contraire,

très-abondante chez les granivores, chez les herbivores. Schultz a vu chez un cheval une seule parotide fournir en vingt-quatre heures 1678 grammes de salive.

C'est surtout chez les vertébrés terrestres que l'appareil glandulaire sécrétant la salive existe bien développé. Il fournit un liquide transparent, légèrement visqueux, ordinairement alcalin, quelquefois acide ou neutre.

Chez les mammifères supérieurs et chez l'homme, il y a trois paires de glandes salivaires, dites *sublingales*, *sous-maxillaires* et *parotidiennes*. Cl. Bernard a montré que ces glandes ne sécrètent pas un liquide identique. En effet, le liquide sécrété par les glandules de la muqueuse buccale semble incapable de transformer l'amidon en sucre, quand il est mélangé à la salive parotidienne. Or il accomplit très-facilement cette transformation quand on le mêle à la salive sous-maxillaire (1).

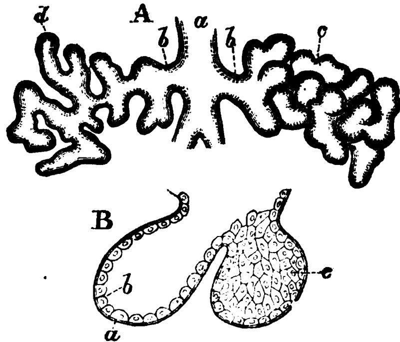


Fig. 21

A*a*, conduit salivaire, avec *b*, ses ramifications latérales, et *d*, leurs extrémités en cul-de-sac; B, deux de ces deux conduits grossis.

L'agent chimique de cette transformation isomérique est une sorte de ferment spécial appelé *ptyaline*. Il est formé au sein de cellules closes qui naissent au fond des acini de la glande, puis se rompent en abandonnant au liquide purement excréteur le produit de leur élaboration;

(1) Draper, *loc. cit.*, p. 43. — Cl. Bernard, *Leçons sur les liquides de l'organisme*, t. II, p. 239.

aussi peut-on obtenir facilement par macération du tissu glandulaire une salive artificielle.

La diversité des produits de sécrétion de glandes en apparence identiques, comme les glandes salivaires, permet de ranger dans la catégorie des glandes salivaires les glandes venimeuses des serpents, qui semblent, du reste, en faire partie anatomiquement. La même raison autorise à ne pas rejeter avec trop de dédain les faits en apparence légendaires d'après lesquels la salive humaine elle-même pourrait acquérir des propriétés venimeuses sous l'influence d'un violent accès de colère. Les substances produites par la chimie vivante subissent avec une extrême facilité des métamorphoses isomériques, et ces métamorphoses entraînent avec elles des propriétés nouvelles.

C'est surtout pendant la mastication, quand il y a contact rapide des aliments et de la muqueuse, que la salive est sécrétée abondamment et revêt tous ses caractères. Mitscherlich a vu que la salive parotidienne de l'homme était acide à l'état de repos relatif de la glande, mais devenait alcaline durant la mastication. L'acidité accidentelle de la salive est vraisemblablement due à une modification secondaire de l'amidon, qui d'abord devient sucre sous l'influence de la diastase salivaire, puis se dédouble en acide lactique. A son tour cet acide est entraîné avec les aliments dans l'estomac, où il contribue, pour une part, à la digestion gastrique.

Le bol alimentaire plus ou moins bien imprégné de salive passe de la bouche dans la première portion du canal digestif, dans le pharynx quand il y en a, dans l'œsophage, tapissé, chez certains reptiles, d'épithélium vibratile destiné à aider au cheminement des parcelles alimentaires, mais revêtu seulement, chez l'homme, d'un simple épithélium épidermoïde dit *pavimenteux*. De l'œsophage, le

bol alimentaire passe dans l'estomac, où s'accomplissent les actes digestifs les plus importants.

B. *Digestion gastrique.* — La digestion gastrique est l'acte principal de la fonction digestive[1], puisque, comme nous allons le voir, l'estomac est le grand laboratoire où s'opère principalement la transformation des matières alimentaires albuminoïdes en peptones absorbables. L'état si imparfait encore de la physiologie comparée ne nous

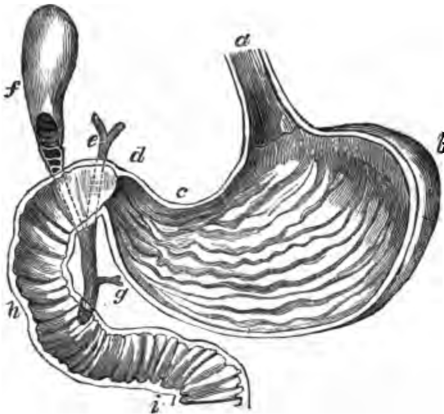


Fig. 22.

L'ESTOMAC VU PAR SA FACE POSTÉRIEURE ENLEVÉE.

a, œsophage ; *b,* dilatation cardiaque ou grand cul-de-sac ; *c,* petite courbure ; *d,* pylore ; *e,* canaux biliaires ; *f,* vésicule du fiel ; *g,* canal pancréatique s'ouvrant par le même orifice que le canal cystique ou biliaire en face de *h* ; *h, i,* duodénum.

permet pas de tracer ici un tableau complet de la digestion albuminoïde dans tout le règne animal. Nous savons cependant que dans les organismes inférieurs, les invertébrés, par exemple, sont pour la plupart carnivores ; il faut donc bien que, malgré l'imperfection de leur système digestif, ils arrivent à effectuer cette transmutation des albuminoïdes en peptones, qui ne s'obtient pourtant chez

les vertébrés supérieurs que dans un estomac différencié, pourvu d'appareils sécréteurs spéciaux. Chez les invertébrés transparents, on peut constater la transformation subie par les aliments. Dugès a vu ainsi, à travers les tissus, chez les planaires et les clepsines, le sang avalé perdre peu à peu sa couleur rouge dans l'estomac et se changer en une matière homogène grisâtre (1). Des vermisseaux entiers, avalés par les hydres, subissaient une semblable altération.

D'autre part, Schweiger a trouvé dans la cavité digestive des polypes et dans les canaux reliant les individus agrégés en colonie, un liquide lactescent, vraisemblablement un liquide nourricier. C'est ce liquide qui est absorbé par l'animal et qui même circule à travers son organisme, là où l'estomac émet des canalicules en cæcums ou même une sorte de système complet de canaux, comme dans la méduse (2).

La métamorphose isomérique des albuminoïdes s'opère donc même chez des êtres rudimentaires, mais elle exige pour cela un temps d'autant plus long que le laboratoire vivant est plus imparfait. Ainsi, après sept ou huit jours d'abstinence, on trouve encore de la nourriture dans le tube digestif des chenilles. Schweiger dit avoir retrouvé dans l'intestin des sangsues une partie du sang sucé deux ans et demi auparavant. Cette extrême lenteur du travail digestif chez les animaux inférieurs aide à comprendre comment ils peuvent résister si longtemps à l'abstinence.

L'absorption est lente dans la cavité digestive des invertébrés inférieurs, et, naturellement, le mouvement du bol alimentaire y est aussi très-lent. La contractilité des parois est aidée chez beaucoup de ces animaux par des cils vibratiles, c'est-à-dire des cellules épithéliales, munies de

(1) Dugès, *loc. cit.*, p. 331.
(2) *Handbuch der Naturgeschichte.*

prolongements ciliaires mobiles. Ces appendices filiformes forment à la surface stomacale et intestinale de nombre d'invertébrés, comme une sorte de prairie vivante, dont chaque brin est animé d'un mouvement oscillatoire régulier, s'effectuant toujours dans le même sens et aidant puissamment au cheminement des substances alimentaires. Cette disposition de l'épithélium intestinal, fréquente chez les invertébrés, s'observe encore à l'état fœtal chez les sélaciens, chez les batraciens, etc., mais elle fait régulièrement défaut chez les oiseaux et les mammifères, même à la période embryonnaire (1).

Pourtant, à des degrés bien différents de la hiérarchie zoologique, le même mode d'alimentation semble entraîner la même structure; ainsi la surface interne de l'estomac chez certains coléoptères carnivores, par exemple le cerf-volant, a un aspect réticulé tout à fait analogue à celui de l'estomac des mammifères. Il est vrai qu'il s'agit ici d'un invertébré supérieur, chez qui la vitalité est active, énergique, et le système digestif fort différencié.

Quelques autres faits viennent encore prouver la faible puissance digestive de l'estomac chez les invertébrés inférieurs. Trembley a observé que l'hydre n'altère ni ne digère l'un de ses bras, quand elle l'ingurgite en même temps qu'une proie quelconque. L'actinie avalée par un individu plus grand de la même espèce est souvent revomie saine et sauve. Elle résiste alors à la digestion comme résistent les entozoaires. Le fait n'est pourtant pas général, et souvent des mollusques à coquilles et des crustacés entiers, engloutis par les actinies et les astéries, sont entièrement digérés, sauf les coquilles ou la carapace, qui sont rejetées ensuite.

Les faits de résistance opposée à la digestion par cer-

(1) Leydig, *loc. cit.*, p. 348, 375.

tains animaux vivants sont dus évidemment au peu d'énergie des liquides digestifs sécrétés, c'est-à-dire à l'imperfection du système glandulaire. Chez les mammifères, les choses se passent tout autrement, et des tissus tout vivants sont promptement attaqués et digérés par la sécrétion stomacale, à moins qu'ils ne soient protégés par un épais vernis épidermique ou épithélial. Claude Bernard, ayant introduit dans l'estomac d'un chien, par une fistule gastrique, le train postérieur d'une grenouille, a vu cette portion de l'animal être dissoute et digérée, tandis que le train antérieur continuait à vivre.

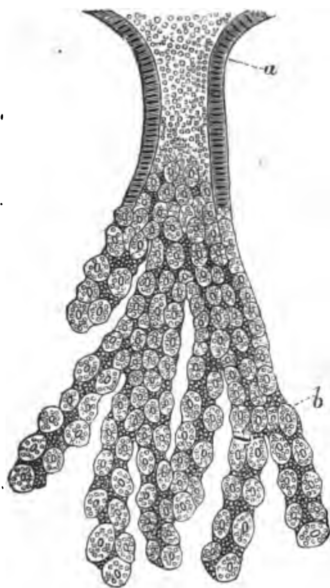


Fig. 23.
L'UNE DES GLANDULES STOMACALES SÉCRÉTANT LE SUC GASTRIQUE PEPTIQUE.
Grossissement d'environ 350 diamètres.
a, paroi du canal glandulaire ; *b*, cellules sécrétantes.

L'agent de cette curieuse dissolution est un suc fort actif, sécrété par les glandules stomacales (fig. 23), et dont il nous faut maintenant parler.

Quand les aliments sont introduits dans la cavité stomacale d'un mammifère, la muqueuse se congestionne, rougit, et l'on en voit sourdre, quand il y a fistule gastrique, comme chez le célèbre Canadien de Beaumont, ou chez un animal préparé par la visection, un suc abondant , liquide, limpide, acide, se rassemblant en gouttelettes et coulant le long de la paroi : c'est le *suc gastrique*.

Ce liquide attaque plus ou moins énergiquement les aliments. Il a peu d'action sur les substances végétales et se borne à dissoudre la substance azotée des cellules. Ce sont surtout les aliments albuminoïdes qu'il dissocie et dissout plus ou moins vite. Il commence par imbiber les tissus animaux, qui se gonflent. Les fibres musculaires deviennent plus friables, plus molles, leurs stries disparaissent. Le tissu cellullaire se dissout, et alors les fibrilles musculaires se désagrégent et finissent par se convertir en une bouillie brunâtre (1). Les tendons, les aponévroses se changent en une bouillie gélatiniforme. Les éléments nerveux glandulaires sont aussi dissociés et ramollis. Les os eux-mêmes sont attaqués et pulvérisés; leur trame organique est extraite et dissoute, et, peu à peu, les parties terreuses sont aussi attaquées et pulvérisées. Une bille d'os de bœuf, que l'on forçait un aigle à avaler chaque jour, et qu'il vomissait régulièrement, disparut en vingt-cinq jours. La portion des aliments seulement ramollie est gonflée, est imbibée par le suc gastrique tenant en dissolution les parties déjà transformées en peptones, et le tout forme une espèce de pâte molle appelée *chyme*, qui, peu à peu, par portions, après avoir cheminé quelque temps dans l'estomac lui-même du *cardia* ou orifice œsophagien au *pylore* ou orifice intestinal, finit par passer dans l'intestin.

L'agent de cette transformation, le suc gastrique, doit ses propriétés digestives principalement à deux substances, à un acide et à un ferment. Il serait mieux de dire à deux acides, qui sont l'acide lactique et l'acide chlorhydrique; mais le premier, l'acide lactique, provient en partie du dédoublement de l'amidon, ou plutôt du sucre qui en dérive, sous l'influence de la ptyaline salivaire. L'autre

(1) Schiff, *Digestion, loc. cit.*, p. 145.

acide est sécrété par les glandules. Chez les animaux à estomac multiloculaire, l'une des parties est spécialement chargée de cette sécrétion acide. Ainsi le suc stomacal est alcalin dans la *panse* et le *bonnet* des ruminants ; il est acide au contraire dans la *caillette*.

Chez les mammifères pourvus, comme l'homme, d'une poche stomacale unique, la différenciation, qui n'existe plus dans la forme générale de l'estomac, persiste encore dans son appareil de sécrétion. Les innombrables glandules de la muqueuse stomacale n'ont pas alors la même fonction, et l'on peut déterminer approximativement quelle région de l'estomac sécrète le mucus acide, quelle autre sécrète le mucus à ferment ou *mucus peptique*.

En effet, si l'on infuse à chaud, dans de l'eau acidulée, l'estomac d'un mammifère, une partie de cet estomac disparaît au bout d'une heure ou d'une heure et demie ; elle a été désagrégée d'abord, liquéfiée ensuite. L'autre partie, qui est toujours la région pylorique, ne se dissout qu'avec une grande lenteur. La partie facilement dissoute est vraisemblablement chargée de sécréter le mucus acide (1). L'examen anatomique des glandules dans l'une et l'autre région confirme cette manière de voir. Les glandes de la région supposée peptique sont presque constamment ramifiées en deux ou trois petits conduits intérieurement tapissés de cellules d'épithélium cylindrique, mais remplis au fond par des cellules d'épithélium globuleux (fig. 23). Ce sont les cellules sécrétantes, et on retrouve leurs analogues dans la caillette des ruminants. Les glandes vraisemblablement muqueuses sont plus rarement ramifiées et ne contiennent pas de cellules d'épithélium globulaire. Nous avons vu que les glandes muqueuses occupent surtout la région pylorique de l'estomac ; quant aux glandes

(1) M. Schiff, *loc. cit.*, t. II, p. 288.

peptiques, elles sont surtout abondantes dans la région moyenne.

Les cellules globulaires contenues dans le cul-de-sac des glandes peptiques sécrètent pendant la digestion stomacale un mucus tenant en dissolution un ferment albuminoïde spécial, que l'on a appelé *pepsine*. Selon M. Schiff, la pepsine ne serait sécrétée aux dépens des éléments du sang que si ce fluide s'était au préalable chargée de substances qu'il a appelées *peptogènes*. La dextrine, le pain, la gélatine d'os, diverses peptones seraient des peptogènes (1).

L'absorption normale des substances peptogènes dans l'intestin grêle n'aurait pas pour résultat de charger de pepsine les glandes stomacales, et pourtant cet effet s'obtiendrait par l'injection de ces substances dans les séreuses, le tissu cellulaire sous-cutané, l'estomac et le rectum.

La pepsine est l'agent spécial de la transformation des substances albuminoïdes alimentaires en peptones isomériques, mais solubles, assimilables et ne se coagulant plus par la chaleur.

Les deux agents acide et peptique concourent d'ailleurs à cette transformation et sont tous deux nécessaires. Sans l'acide, la pepsine n'a plus d'action. Aussi, quand la bile alcaline reflue accidentellement dans l'estomac et y neutralise le suc gastrique, le travail de la digestion est subitement arrêté. L'acide désagrége et ramollit les substances albuminoïdes, et par cette modification préparatoire rend possible l'action peptique.

En observant les phases et les phénomènes de la digestion dans l'estomac même par le procédé des fistules gastriques et, mieux encore, en recourant aux digestions artificielles, on est parvenu à déterminer avec assez de

(1) M. Schiff, *loc. cit.*, t. II, p. 193.

précision l'action de la pepsine sur les diverses catégories d'aliments.

En effet, la digestion n'est que le résultat de simples phénomènes physiques et chimiques, qui s'accomplissent fort bien en dehors de l'estomac. C'est à Réaumur que revient l'honneur d'avoir le premier essayé les digestions artificielles (1), mais Spallanzani fut le premier qui réussit à en effectuer. Eberle prépara du suc gastrique artificiel en faisant ramollir une muqueuse stomacale dans de l'eau à 30 degrés Réaumur, puis en ajoutant goutte à goutte de l'acide chlorhydrique ou de l'acide acétique. Müller, Schwann, Tiedemann et Gmelin, Purkinje, Pappenhein, Leuret et Lassaigne, firent des expériences analogues, qui depuis ont été souvent répétées.

C'est généralement à la caillette d'un ruminant que l'on s'adresse pour avoir le ferment gastrique nécessaire. M. Schiff, qui s'est beaucoup occupé de ces digestions artificielles, emploie souvent l'estomac d'animaux non ruminants (2). Alors il détache seulement la portion moyenne, dite *peptique ;* il la fait infuser dans 500 à 600 grammes d'eau acidulée et laisse reposer pendant cinq à six jours. Le liquide ainsi obtenu a la propriété de transformer les aliments albuminoïdes en peptones isomériques, mais solubles dans l'eau et même dans l'alcool dilué, de plus incoagulables par la chaleur et ne formant plus de composés insolubles avec les sels métalliques. En outre, comme nous l'avons déjà mentionné, quand ces peptones sont mêlées à du sucre, elles masquent la réaction de Trommer.

Tous les procédés d'observation que nous venons d'énumérer ont permis de constater sûrement que les seuls aliments qui soient transformés par le suc gastrique

(1) *Histoire de l'Académie des sciences*, 1752.
(2) M. Schiff, *loc. cit.*, t. I p. 78.

sont les substances albuminoïdes. L'estomac absorbe en outre nombre d'autres substances contenues dans les aliments, mais à la condition qu'elles soient solubles dans l'eau acidulée, car il ne les modifie pas (sels, etc.). Les corps gras, l'amidon sont à peine altérés par le suc gastrique; ils passent avec le chyme dans l'intestin, où d'ailleurs la transformation des substances protéiques imbibées de suc gastrique s'achève peu à peu (1).

Selon M. Schiff (2), et contrairement à une idée généralement reçue, l'albumine liquide se digérerait plus lentement que l'albumine solide ; elle exigerait plus d'acide pour sa transformation. De plus, l'acide stomacal serait incapable de coaguler l'albumine.

La caséine liquide, au contraire, serait promptement coagulée par le suc gastrique, et sa coagulation préalable serait même une condition de sa transformation en peptones.

La légumine végétale se dissoudrait sans peine dans les acides et se transformerait ensuite.

Nous avons vu que les substances albuminoïdes végétales étaient généralement renfermées dans une membrane constituée par de la cellulose ; c'est dire que les aliments végétaux cèdent moins facilement que les aliments animaux leurs principes protéiques. Il faut, en effet, que les sucs digestifs dissolvent d'abord plus ou moins les enveloppes réfractaires.

Si l'on ne prend pas les choses rigoureusement au pied de la lettre, il y a une grande somme de vérité dans la formule générale suivante de la digestion : La digestion stomacale est histogénétique, c'est-à-dire qu'elle prépare les corps quaternaires azotés destinés à s'incorporer aux éléments anatomiques. Au contraire, mais d'une manière

(1) M. Schiff, *loc. cit.*, t. II, p. 127, 134.

(2) *Ibid.*, t. II, p. 150.

plus générale encore, la digestion intestinale est thermogénétique ; elle rend absorbables principalement les carbures d'hydrogène, les substances ternaires destinées en très-grande partie à subir dans l'économie une oxydation complète, à être par suite entièrement transformées en eau et en acide carbonique, en produisant de la chaleur.

Diverses expériences de M. Schiff semblent prouver que la sécrétion peptique ne dépend point du système nerveux central. Après la section des nerfs pneumogastriques, la pepsine n'en continuerait pas moins à se former dans les culs-de-sac glandulaires, et l'absorption stomacale elle-même ne serait pas diminuée (1). Il n'en serait pas de même de la sécrétion *acide*, et cela expliquerait comment Wilson Philipp, Brachet, Breschet, Milne-Edwards ont pu voir la digestion s'arrêter après la section des mêmes nerfs pneumogastriques. Le premier de ces expérimentateurs affirme même qu'il a pu rétablir le travail digestif en galvanisant le tronçon périphérique des nerfs coupés.

D'ailleurs, d'autres expériences de M. Schiff montrent que les fonctions générales de l'estomac sont loin d'être indépendantes des centres nerveux. Sur des chiens ayant subi des vivisections cérébrales, des lamisections des couches optiques et des pédoncules cérébraux, ce physiologiste a constaté que les vaisseaux capillaires de la muqueuse stomacale se dilataient par places, qu'en ces points il se produisait d'abord des stases sanguines, puis un ramollissement de la muqueuse, qui alors devenait incapable de résister à l'action du suc gastrique et était digérée, d'où des ulcérations et même des perforations de l'estomac.

Certains états généraux influent aussi sur la sécrétion peptique : par exemple, suivant les observations de

(1) M. Schiff, *loc. cit.*, p. 415.

M. Schiff, la fièvre abolit complétement cette sécrétion. L'estomac est alors absolument incapable de digérer ; il absorbe, mais il lui faut des aliments directement assimilables, comme la dextrine, la glycose, les peptones artificielles de Corvisart (1).

C. *Digestion intestinale*. — La digestion intestinale n'existe vraiment, c'est-à-dire avec ses caractères propres, que là seulement où existent aussi ses vrais agents, c'est-à-dire les glandes hépatique et pancréatique. Nous avons vu que les éléments sécréteurs de la bile semblent être d'abord, chez les échinoïdes, de simples cellules épithéliales tapissant la surface interne de l'intestin. Les cellules épithéliales hépatiques sont, en définitive, partout et toujours les facteurs de la bile dans tout le règne animal ; mais, à mesure que l'on s'élève dans la série zoologique, on voit ces cellules devenir de plus en plus nombreuses et s'accumuler dans des appareils spéciaux de plus en plus complexes. Ce sont d'abord de simples cæcums, au fond desquels les cellules naissent, se remplissent de bile, qu'elles laissent ensuite échapper en se dissolvant, ou bien, comme chez les insectes, il y a des tubes où se génèrent côte à côte l'urine et la bile.

Chez les arthropodes il existe un foie volumineux, spécialement chez les crustacés et les insectes. Les mollusques sont aussi pourvus d'un foie très-volumineux, divisé en lobes, fabriquant à la fois du sucre et de la bile, comme celui des vertébrés supérieurs.

Chez ces derniers, la bile est sécrétée abondamment, séjourne, en partie au moins, dans une poche spéciale dite *vésicule biliaire*, et est enfin déversée dans la première partie de l'intestin grêle, dans le duodénum. La bile est, comme chacun sait, un liquide jaunâtre ou verdâtre, amer,

(1) M. Schiff, *loc. cit.*, p. 269.

tenant en dissolution une matière colorante, la biliverdine, des phosphates, des chlorates, des sels organiques de soude, de la cholestérine, etc. C'est, de tous les liquides de l'économie, le plus chargé de sels. Il est alcalin, mais seulement durant la digestion. En outre, on ne trouve dans la bile aucune substance albuminoïde (1), et elle ne coagule pas par la chaleur, les acides, les sels métalliques.

Nous avons vu que le foie des mammifères supérieurs était formé par l'assemblage de deux appareils, l'un glycogénique, l'autre biliaire. Le premier fonctionne aux dépens du sang veineux, chargé de nutriments que lui amène la veine porte, c'est-à-dire le tronc commun des veines intestinales. Au contraire, l'organe sécréteur de la bile élabore sa sécrétion aux dépens du sang artériel général, et l'on tarit la sécrétion biliaire en liant l'artère hépatique. La même chose se produit, du reste, de toute nécessité chez les animaux inférieurs, dont le foie ne reçoit pas de veine porte. Versée sur les aliments, la bile semble agir sur les corps gras, qu'elle émulsionne, et aussi sur les matières albuminoïdes imprégnées de suc gastrique. Elle les neutralise d'abord, puis active leur dissolution. Mais elle semble n'acquérir toutes ses propriétés qu'après son mélange avec un autre liquide, le suc pancréatique.

Le pancréas existe-t-il chez les invertébrés? C'est une question de physiologie comparée qui attend encore sa réponse. Nous avons vu qu'on ne reconnaît nettement le pancréas, mais encore à l'état rudimentaire, que chez les poissons. Chez les vertébrés supérieurs, c'est une grosse glande en grappe, déversant un liquide abondant dans l'intestin par un conduit qui parfois s'anastomose avec le canal biliaire ou *cholédoque,* et parfois s'ouvre directement dans l'intestin, généralement dans le voisinage immédiat du

(1) Ch. Robin, *Leçons sur les humeurs,* p. 501.

conduit biliaire, parfois cependant à une assez grande distance et au-dessous de ce conduit. Le pancréas sécrète un liquide incolore, limpide, visqueux et alcalin. Ce liquide contient une substance albuminoïde spéciale, la *pancréatine,* et cette substance y est en telle quantité, que, par la chaleur ou l'alcool, le suc pancréatique se coagule en masse et tout entier. Après avoir été ainsi coagulée et séchée, la pancréatine est susceptible de se redissoudre dans l'eau, et l'on peut, par ce moyen, obtenir un suc pancréatique artificiel, ce qui facilite beaucoup l'étude des propriétés du suc pancréatique. Comme le suc pancréatique est, de même que le suc gastrique, tout formé dans les cellules de la glande pancréatique, on peut aussi, par simple infusion du tissu glandulaire, obtenir un suc pancréatique artificiel (1).

Avant tout, ce liquide émulsionne les corps gras sûrement et promptement. En outre, il dédouble en partie quelques graisses neutres (butyrine, oléine, margarine, stéarine) en glycérine et en acide butyrique.

En outre, le suc pancréatique transforme presque instantanément en glucose soluble les fécules.

Enfin il achève de liquéfier les substances protéiques du chyme.

Nous avons vu que la bile seule n'a sur le chyme qu'une action fluidifiante assez faible; mais de son union avec le suc pancréatique, d'ailleurs plus actif, résulte un liquide doué de propriétés très-énergiques.

Il est maintenant facile de se faire une idée suffisamment exacte de la digestion intestinale. Le chyme, imprégné de suc gastrique, contenant des matières protéiques

(1) Ch. Robin, *Leçons sur les humeurs,* p. 532-535. — Cl. Bernard, *Mémoire sur le pancréas,* etc. (*Supplément aux Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. I. — L. Corvisart, *Sur une fonction peu connue du pancréas.*

déjà attaquées par le liquide stomacal, et en plus des substances amyloïdes et graisseuses non altérées, franchit l'orifice pylorique de l'estomac et arrive dans la première portion de l'intestin grêle, dans le duodénum, où il est baigné chez la plupart des vertébrés par les sucs biliaire et pancréatique. Ces deux liquides étant alcalins, l'acide gastrique est neutralisé; le chyme même devient alcalin. D'autre part, dans l'intestin comme dans l'estomac, la présence du bol alimentaire provoque la congestion de la muqueuse, une abondante sécrétion glandulaire et des mouvements plus vifs des parois digestives. L'afflux des liquides biliaire et pancréatique achève et complète l'élaboration chimique commencée dans la portion supérieure du tube digestif. Les substances amyloïdes et sucrées se métamorphosent en dextrine et en glycose, les corps protéiques se transforment en peptones. Les corps gras sont émulsionnés.

Toutes ces modifications chimiques si importantes s'effectuent peu à peu, à mesure que, par le jeu de sa couche musculaire, l'intestin se contracte et fait ainsi cheminer le bol alimentaire demi-liquide. Peu à peu les aliments deviennent des substances assimilables, de véritables nutriments. Or ces substances sont en contact dans l'intestin avec les villosités si richement vasculaires; elles sont donc facilement absorbées par endosmose et passent ainsi dans la circulation. Il est possible pourtant que l'absorption vasculaire ne soit pas directe. Il semble, en effet, y avoir incessamment à la surface intestinale une génération de cellules épithéliales, qui, d'une part, protégent la muqueuse et, d'autre part, absorbent les liquides nutritifs, les élaborent peut-être, puis les cèdent par endosmose aux vaisseaux capillaires de l'intestin (1).

(1) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès de la physiologie*, etc., p. 199.

Les corps gras émulsionnés seraient plus spécialement pris par les fins canalicules lymphatiques, puis chassés de là dans le réseau lymphatique secondaire; ils donnent alors à ce réseau l'aspect laiteux, le remplissent de *chyle*, qui, entraîné dans la grande circulation lymphatique, va finalement se déverser aussi dans le sang veineux.

Les liquides gastrique, biliaire et pancréatique sont incontestablement les principaux agents chimiques de la transformation des aliments; mais ils ne sont pas les seuls. Un très-grand nombre de petites glandes, de formes diverses, sont disséminées dans l'épaisseur de la muqueuse intestinale. Ces glandes sécrètent un liquide digestif important, le suc intestinal, et aussi du simple mucus. Il ressort de diverses expériences que le suc intestinal est l'auxiliaire des autres liquides digestifs précédemment décrits; il transforme la fécule en dextrine et en glycose; il émulsionne les matières grasses; il métamorphose isomériquement les substances protéiques; mais son action digestive diminue et cesse peu à peu dans la dernière portion de l'intestin, dans le gros intestin; pourtant les vaisseaux lymphatiques de cette région se chargent encore de chyle, tout comme ceux de l'intestin grêle.

L'origine du gros intestin est marquée par une dilatation appelée *cæcum*, où la masse chymique séjourne encore un temps plus ou moins long. Cette cavité cæcale acquiert des dimensions considérables chez les herbivores; ce qui est conforme à la loi générale suivant laquelle le système digestif doit être d'autant plus complexe que les aliments sont moins assimilables. Or rien de moins assimilable que la cellulose végétale, qui traverse en très-grande partie le tube digestif sans être altérée, non-seulement chez l'homme, mais même chez les herbivores.

Nous avons maintenant indiqué à grands traits les divers procédés digestifs, les principales métamorphoses,

que subissent les substances alimentaires pour devenir absorbables et assimilables, pour devenir nutriments, de simples aliments qu'elles étaient. Il nous faut actuellement nous occuper de la seconde phase préparatoire de la nutrition, voir par quelle série de procédés anatomiques et physiologiques les matières assimilables élaborées par la digestion sont mises en contact intime avec les tissus, avec les éléments histologiques, c'est-à-dire donner une description générale de la circulation.

CHAPITRE XIII.

CIRCULATION.

1. *Morphologie générale de la circulation.*

Si l'on embrasse d'un coup d'œil d'ensemble l'anatomie de l'appareil circulatoire dans le règne animal tout entier, on voit encore ici la spécialisation s'effectuer graduellement. La Nature, comme on le disait jadis, n'est point arrivée d'emblée à la perfection. Elle s'y est reprise à bien des fois ; elle a tâtonné longtemps, ajoutant successivement des pièces nouvelles au système ou compliquant peu à peu celles qui existaient déjà. En langage moderne, l'appareil circulatoire, comme tous les autres, s'est perfectionné et différencié de plus en plus sous l'influence de la lutte pour vivre et de la sélection naturelle.

Un premier fait ressort de l'anatomie comparée, c'est que le système circulatoire ne se dessine dans les organismes vivants qu'après le système digestif, dont il est d'abord un appendice.

Chez les *protozoaires* (1), il n'y a encore ni digestion ni circulation. Les liquides nutritifs absorbés passent directement dans le parenchyme à peu près homogène du corps ; les liquides expulsés en sortent de même par une sorte de perspiration insensible.

Chez les *rhizopodes,* le contact intime des substances absorbées avec la substance vivante est aidé par les contractions sarcodiques, par l'émission et la rétraction des pseudopodes. Des courants liquides chargés de granules se produisent visiblement.

Chez quelques infusoires, on observe un mouvement

(1) Gegenbaur, *Anatomie comparée,* p. 103.

rotatoire, dans un sens constant, du liquide intra-cellulaire, c'est-à-dire un phénomène tout à fait comparable à la gyration intra-cellulaire du protoplasme végétal (Paramécies).

Immédiatement après les protozoaires viennent les animaux un peu plus complexes, ayant une cavité digestive, mais nulle autre. Ce sont les polypes à coraux ou *anthozoïdes*, les *hydroméduses*, les *cténophores*.

Chez un certain nombre d'animaux de ce groupe, on voit apparaître une première ébauche de l'appareil circulatoire; ce sont des ramifications plus ou moins complexes émanant de la cavité digestive et communiquant avec elle (méduses, etc., voir p. 185, fig. 10). La digestion et la circulation étant encore confondues, on peut qualifier l'ensemble du système de *gastro-vasculaire.* Le contenu de l'appareil n'est pas encore spécialisé; c'est du chyme étendu d'eau.

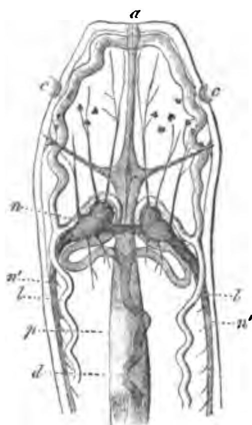


Fig. 24.

Extrémité antérieure du corps d'un némertien (borlasia camilla) : *a*, ouverture de la trompe ; *p*, trompe; *c*, fossettes vibratiles ; *n*, ganglion cervical ; *n'*, système nerveux latéral ; *l*, troncs sanguins latéraux, qui s'infléchissent en avant pour se réunir ; avant cette réunion, ils envoient autour du cerveau une branche qui se réunit avec celle opposée pour former le vaisseau dorsal (*d*).

Un progrès organique s'accomplit chez les *némathelminthes*. Pour la première fois, le liquide nourricier élaboré par l'appareil digestif est recueilli, avant d'être assimilé, dans une cavité spéciale, distincte du système digestif et l'entourant plus ou moins complétement. Des éléments figurés, sorte de globules sanguins, flottent même dans ce liquide, chez quelques nématodes. Chez les *némertiens,* on voit déjà apparaître quelques canaux vasculaires (fig. 24). Chez les *annelés*, il y a un réseau assez régulier; des vais-

seaux longitudinaux reliés entre eux, et dont l'un, très-constant, est dorsal. Ce dernier est toujours contractile et il chasse le sang d'arrière en avant. Le liquide de la cavité périentérique est incolore et l'on y trouve des éléments figurés.

Chez les *hirudinées*, la cavité périentérique n'existe que chez les jeunes. Habituellement cette cavité communique avec l'extérieur, et, par conséquent, le liquide qu'elle contient est plus ou moins mélangé d'eau. Chez beaucoup d'hirudinées et d'annélides, le sang est jaunâtre ou plus ou moins rouge (fig. 25).

Chez les *tuniciers*, il y a constamment un organe impulsif, un cœur situé sur le trajet du tronc ventral.

Le système circulatoire des *échinodermes* est constitué par deux anneaux vasculaires, entourant l'orifice du tube digestif. Ces anneaux sont reliés entre eux; ils émettent des ramifications rayonnantes et l'un d'eux reçoit des vaisseaux provenant de l'intestin.

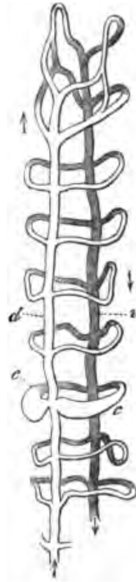


Fig. 25.
Portion antérieure du système vasculaire sanguin d'un jeune *sænuris variegata; d*, vaisseau dorsal; *v*, vaisseau ventral; *c*, anastomose transverse élargie; cœur. Les flèches indiquent la direction du sang.

Chez les *arthropodes* (crustacés, arachnides, insectes), il y a encore, comme dans tous les groupes précédents, une cavité générale remplie de sang. Chez tous, il existe un organe impulsif ou cardiaque, d'où partent des vaisseaux efférents, dits pour cela *artériels*. Le sang revient au cœur par les espaces lacunaires situés entre les organes. Ces conduits, sans parois spéciales, débouchent dans un réservoir péricardiaque et le sang pénètre ensuite dans le cœur par des fentes cardiaques. Chez les *décapodes* (fig. 26), le sang, avant de revenir au cœur, s'oxygénise en passant par les branchies. Chez les

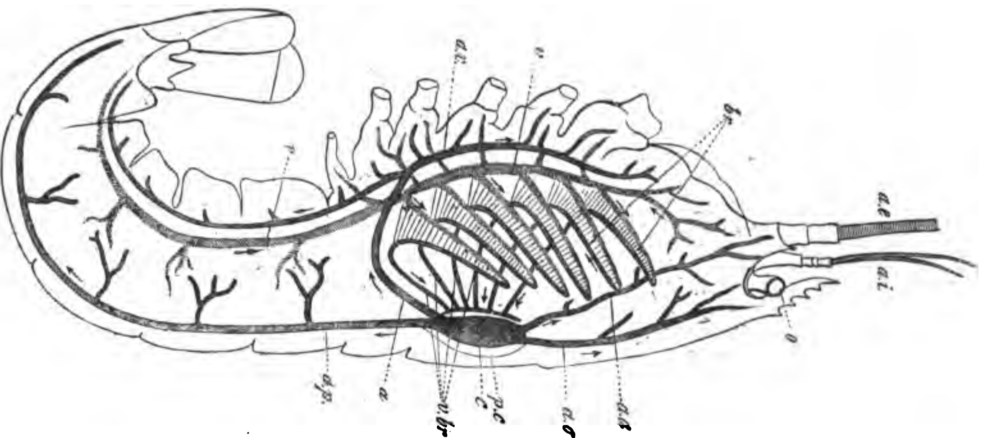


Fig. 26.

Figure schématique de l'appareil circulatoire du *homard* : *o*, yeux ; *ae*, antennes extérieures ; *ai*, antennes intérieures *br*, branchies ; *c*, cœur ; *pc*, péricarde ; *ao*, artère moyenne et antérieure du corps ; *aa*, artère du foie ; *ap*, artère postérieure du corps ; *a*, tronc de l'artère ventrale ; *av*, artère ventrale antérieure ; *v*, sinus veineux ventral ; *vbr*, veines branchiales. — Les flèches indiquent la direction des courants sanguins.

insectes, le système vasculaire à parois bien déterminées se réduit presque au vaisseau dorsal contractile.

Tous les *mollusques* ont un organe sanguifère contractile ou cardiaque (fig. 27) ; ils en ont même parfois plusieurs. On veut distinguer, dans le cœur des mollusques, un ventricule et des oreillettes. Le ventricule n'est qu'une dilatation du tronc dorsal et les oreillettes des dilatations des vaisseaux transverses, débouchant dans le prétendu ventricule. Chez les *céphalopodes,* le vaisseau dorsal s'incurve en boucle ; les veines branchiales y débouchent en se dila-

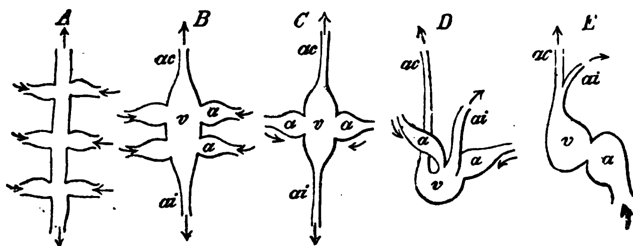


Fig. 27.

Figures schématiques montrant la comparaison des modifications des centres circulatoires chez les *mollusques :* A, partie du tronc dorsal et des vaisseaux transversaux d'un *ver.* B, cœur et oreillette d'un *nautile.* C, cœur et ventricule d'un *lamellibranche* ou *loliginé.* D, le même organe chez un *octopus.* E, cœur et oreillette d'un *gastéropode : v,* ventricule ; *a,* oreillette ; *ac,* artère céphalique ; *ai,* artère abdominale. — Les flèches indiquent la direction du courant sanguin.

tant. Le cœur émet deux artères, l'une céphalique, l'autre abdominale. Il y a un vrai réseau de fins capillaires entre les dernières ramifications des systèmes veineux et artériel. La plupart des céphalopodes ont des dilatations cardiaques, musculaires, sur les artères branchiales. Malgré la perfection relative de cet appareil, la cavité du corps constitue toujours une grande lacune pleine de sang qui baigne directement les organes. Cette cavité commu-

nique avec les vaisseaux; des veines y débouchent directement.

Le système circulatoire achève de se compléter chez les *vertébrés*, mais il est encore fort imparfait chez le premier d'entre eux, chez l'*amphioxus*. En effet, chez cet animal, dont Haeckel veut faire un trait d'union entre les mollusques et les vertébrés, il n'y a point encore de cœur et l'impulsion est imprimée au liquide sanguin par tous les gros vaisseaux, qui sont contractiles. Chez les autres

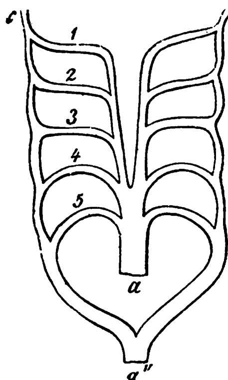


Fig. 28.

Schéma de l'ébauche des grands troncs, de l'appareil différencié des vaisseaux branchiaux; *a*, bulbe artériel; 1-5, arcs artériels; *aa''*, aorte; *c*, carotide.

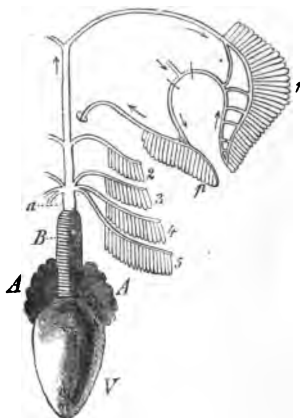


Fig. 29.

Cœur, artères branchiales et branchie operculaire du *lepidosteus osseus*: *v*, ventricule; AA, oreillette; B, bulbe artériel musculaire; *a*, tronc des artères branchiales; 1, branchie accessoire (operculaire); *p*, pseudobranchie (branchie de l'évent); 2, 3, 4, 5, branchies des arcs. — Les flèches indiquent la direction du sang.

vertébrés, il y a un cœur, mais on le voit aussi se perfectionner peu à peu. La forme la plus simple du cœur vertébré existe chez les poissons. Là, la dilatation cardiaque est simplement divisée en deux parties : une oreillette et

un ventricule. La première partie reçoit le sang veineux venant du reste du corps et le chasse dans la seconde cavité, d'où il est renvoyé par un système de vaisseaux dans les organes respiratoires ou branchies. Dans les feuillets branchiaux le sang passe par un système de fins vaisseaux capillaires, s'y charge d'oxygène et est ensuite versé dans la circulation générale pour revenir de nouveau au cœur (fig. 28 et 29).

Quand les branchies sont remplacées par des poumons, le cœur commence à se diviser longitudinalement en quatre cavités plus ou moins incomplétement séparées. Ce sont d'abord, dans les oreillettes, un tissu réticulé; dans le ventricule, des bourrelets, des saillies musculaires (lepidosiren). Chez les reptiles, il y a trois cavités cardiaques : deux oreillettes recevant l'une le sang veineux du corps, l'autre le sang revenant des organes respiratoires. La séparation du ventricule en deux cavités est seulement indiquée par un tissu réticulé. Parfois pourtant ces deux moitiés ventriculaires ne se contractent pas simultanément (tortues). Ici encore, comme chez les crustacés inférieurs et les arachnides, la totalité du sang n'est point contrainte de passer par les surfaces respiratoires avant de revenir au cœur.

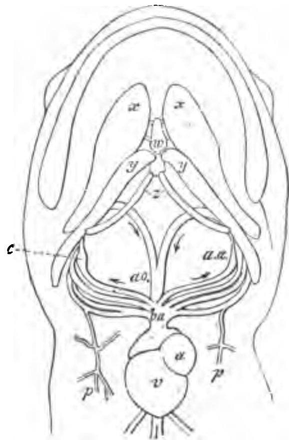


Fig. 30.

Cœur et gros vaisseaux de *salamandra maculosa*. Le premier arc de l'aorte, *c*, se continue directement avec la carotide; *w*, *x*, *y*, *z*, appareil de l'os hyoïde; *c*, glandes carotidiennes.

Chez les oiseaux, la séparation longitudinale du cœur est complète; il y a deux oreillettes, deux ventricules. Le

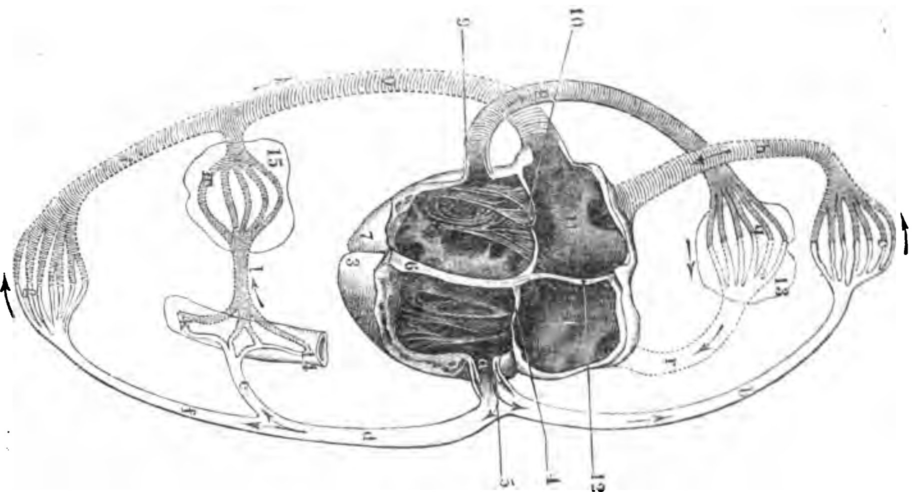


Fig. 31.

Schéma de la circulation chez les vertébrés. Le cœur est sectionné longitudinalement pour laisser voir les cavités et les valvules, qui sont fermées. 1, oreillette gauche ; 2, ventricule gauche ; 3, pointe du cœur ; 8, ventricule droit ; 11, oreillette droite ; 13, poumons ; 14, intestins ; 15, foie ; *a*, courant sanguin artériel (aorte) ; *c*, système capillaire de la moitié supérieure du corps ; *d*, courant artériel desservant les parties inférieures ; *e*, courant artériel desservant les organes digestifs ; *g*, système capillaire de la partie inférieure ; *h* et *i*, courants veineux supérieur et inférieur ; *k*, capillaires digestifs ; *l*, veine porte ; *m*, système capillaire du foie ; *q*, système capillaire des poumons.

sang vivifié, oxygéné, revenant des poumons, le sang artériel, ne se mélange plus dans le cœur avec le sang qui a servi à la nutrition, avec le sang veineux, noir et chargé d'acide carbonique. En réalité il y a deux cœurs accolés, un cœur artériel et un cœur veineux. Il en est naturellement de même chez les mammifères ; chez un cétacé, le *dugong*, les deux cœurs existent, mais presque entièrement séparés. A mesure que les cavités cardiaques se dessinent, elles se subdivisent chacune en deux cavités secondaires par des valvules membraneuses non contractiles. D'autres valvules de structure analogue se trouvent à l'orifice des gros vaisseaux, qui partent du cœur ou y débouchent.

Le système circulatoire des vertébrés forme un ensemble de canaux fermés, renfermant un liquide spécial. Il n'y a plus de lacunes, ou, du moins, elles ne sont plus qu'exceptionnelles et partielles (fig. 31). Du cœur part un système de canaux efférents ou artériels, tandis qu'il y aboutit un autre système afférent ou veineux. Enfin ces deux systèmes de canaux, qui, chez les vertébrés supérieurs, ont une structure différente, sont reliés entre eux par de très-fins canalicules, dits *vaisseaux capillaires*, à très-minces parois. Ces vaisseaux capillaires peuvent se classer en trois principaux réseaux, chez les vertébrés supérieurs. L'un de ces réseaux s'étale à la surface des organes respiratoires ; c'est lui qui donne issue au dehors à l'acide carbonique, c'est lui qui donne en même temps accès à l'oxygène ; c'est le réseau des *capillaires respiratoires*. Le second grand réseau de canaux capillaires existe dans le foie ; il provient de la subdivision du système veineux intestinal. Les ramuscules vasculaires qui le constituent, s'enlacent autour des cellules glycogéniques du foie, puis se réunissent à nouveau pour former des veines (veines hépatiques), qui déversent leur contenu dans le système

veineux général. Le groupe des capillaires du foie peut être appelé réseau des *capillaires glycogéniques*. L'ensemble de tous les autres capillaires n'appartenant ni à la respiration ni à la glycogenèse peut être dénommé réseau des *capillaires nutritifs*. Les capillaires de ce dernier réseau plongent dans la trame de tous les organes, même des organes respiratoires et du foie ; c'est à travers leurs parois que s'effectue l'échange nutritif, que les éléments anatomiques reçoivent leurs substances assimilables et rejettent les produits désassimilés. Pour être complet, il faut mentionner en outre les nombreux petits réseaux capillaires desservant les sécrétions non glycogéniques.

Certes, dans ce résumé si rapide et si incomplet, nous ne pouvons avoir la prétention d'exposer en détail la physiologie des divers organes et appareils. Notre devoir est de nous en tenir aux généralités, en empruntant seulement aux faits particuliers ceux d'entre eux qui sont indispensables à notre exposition. Néanmoins il sera opportun de décrire brièvement le mécanisme de la circulation chez les vertébrés supérieurs. Nous aurons donc à parler du cœur, des artères, des vaisseaux capillaires et enfin des veines. Mais auparavant, il ne sera pas sans utilité de résumer en quelques lignes l'idée d'ensemble, qui ressort de notre petit résumé d'anatomie comparée. Le mouvement des fluides est évidemment une loi primordiale de la nutrition. Il s'effectue dans l'être monocellulaire et dans l'homme. Tout d'abord, c'est par absorption directe à travers la paroi extérieure de la cellule. On a observé alors qu'un échange actif et visible, quand le protoplasme charrie des granulations, s'effectue entre le noyau et le protoplasme (poils du *tradescantia virginia*). Ici la circulation dépend rigoureusement de l'échange nutritif, de l'appel des matériaux assimilables, du rejet des matériaux usés. Dans l'organisme polycellulaire, peu ou point diffé-

rencié, chaque cellule se comporte, à peu près, comme si elle était seule et nous avons vu que, dans les plantes, il y avait mouvement rotatoire du protoplasme dans chaque cellule. Chez l'animal inférieur, où le travail nutritif commence déjà à se répartir, il existe un appareil gastro-vasculaire. Une substance plus ou moins assimilable passe dans un système de fins canaux en communication directe avec la poche digestive. Puis ces canaux se séparent de l'appareil, digestif. Comme, dans un système aussi complexe, l'appel nutritif fait par les éléments anatomiques et la capillarité ne suffiraient plus à imprimer au liquide nutritif un mouvement suffisant, les canaux deviennent plus ou moins contractiles. Puis, par une spécialisation nouvelle, le pouvoir contractile s'accumule en quelque sorte dans des points spéciaux, où apparaît un tissu musculaire plus ou moins riche. Généralement, alors, il y a un appareil respiratoire plus ou moins complet, et par suite deux espèces de sang plus ou moins tranchées, un sang oxygéné et un sang qui a besoin de l'être. Ces deux espèces de liquides nutritifs se séparent enfin, de mieux en mieux, et quoique le second provienne toujours du premier, il ne se mélange plus avec lui. Alors les agents propulseurs sont multiples : ce sont l'appel nutritif des éléments anatomiques, le reflux imprimé par eux aux substances usées, la contractilité générale des vaisseaux, contractilité plus accentuée dans les artères, c'est-à-dire dans les canaux qui charrient un sang vivifié. Enfin, il existe un organe propulseur central, un muscle creux, d'abord à deux, puis à trois, puis à quatre cavités, communiquant entre elles deux à deux, mais séparées par des valvules qui empêchent le reflux. Chaque paire de ces cavités cardiaques est, à vrai dire, un cœur spécial. L'un de ces cœurs est veineux, c'est-à-dire chargé de pousser rapidement le sang noir, revenant des

tissus, vers l'appareil respiratoire, où il s'approvisionne d'oxygène. L'autre cœur est artériel, il a pour fonction de chasser vers les tissus le sang oxygéné qui leur est indispensable.

Naturellement, le liquide nutritif se spécialise d'autant mieux que le système qui le contient est mieux clos, mieux différencié. Tout d'abord, il ne se distingue pas de l'aliment lui-même, puis du chyme; puis il devient un chyme élaboré; enfin, on y rencontre des éléments figurés flottants. Ces éléments, qui, au début, étaient de simples cellules épithéliales, deviennent des globules spéciaux, caractérisés par une forme, une couleur particulières, des hématies aussi avides d'oxygène qu'elles sont promptes à l'abandonner aux éléments anatomiques.

A. *Du cœur*. — Nous avons vu que le cœur des vertébrés supérieurs est relié, dans la série animale, aux organes sanguifères contractiles des animaux inférieurs par une longue chaîne de gradations. En outre, la même sériation se reproduit individuellement dans le développement embryologique de chaque vertébré. C'est dire, aujourd'hui, une chose banale que de rappeler que le cœur de tout mammifère apparaît d'abord, chez l'embryon, sous la forme d'une simple vésicule contractile et représente assez bien, dans son développement ultérieur, d'abord, le type cardiaque du poisson, puis celui du reptile.

Nous verrons plus loin que les éléments anatomiques musculaires se distinguent en muscles de la vie de relation et muscles de la vie nutritive. Les premiers constituant les masses musculaires qui obéissent à la volonté, les autres formant les éléments contractiles des viscères soustraits à cette influence. Or, par exception, le cœur, organe de la vie organique et indépendant de la volonté, est constitué par des fibres musculaires de la vie animale, par des fibres dites *striées*. Il en est ainsi chez les mam-

mifères, les oiseaux et les reptiles. Pourtant, ces fibres musculaires cardiaques ne sont pas absolument identiques à celles des muscles de la vie animale. Elles sont plus minces, ont un aspect granuleux; en outre, elles se ramifient et s'anastomosent entre elles. La striation s'observe encore, mais très-fine, sur les muscles cardiaques de beaucoup d'invertébrés, notamment des insectes, des araignées et des crustacés; en résumé, chez les arthropodes. Là encore, les fibres musculaires ont aussi une texture granuleuse et une teinte plus sombre.

L'appareil nerveux du cœur est aussi tout particulier. Nous verrons plus loin que la partie périphérique du système nerveux se compose de fibres afférentes ou motrices, de fibres efférentes ou sensitives et enfin d'un réseau nerveux ayant quelques traits anatomiques spéciaux et appelé système des nerfs sympathiques. Les fibres de cette dernière portion se distribuent plus particulièrement aux organes de la vie nutritive. Or le cœur, déjà singulier par la nature de ses fibres musculaires, est aussi innervé d'une façon particulière. Il reçoit également des fibres sympathiques à renflements ganglionnaires et des fibres lisses de la vie animale. Enfin, la distribution de toutes ces fibres nerveuses ne se fait pas uniformément entre les fibres musculaires. Si, en employant une solution sodique convenable, on rend transparentes de notables étendues des oreillettes et des ventricules, on n'y trouve que peu ou point de nerfs. C'est dans le voisinage des valvules, que ceux-ci semblent se concentrer. Pourtant des filets sympathiques munis de renflements ganglionnaires pénètrent çà et là dans la substance musculaire.

Cette structure du cœur est bien en rapport avec les fonctions de cet organe. Le cœur appartient bien, en effet, au département de la vie nutritive, mais il doit se contracter avec rapidité, or les fibres musculaires lisses

de la vie animale se contractent lentement, il fallait donc que, chez les animaux à circulation tant soit peu active, l'organe propulseur du sang fût constitué par des fibres striées. De plus, ces fibres devaient avoir une grande indépendance fonctionnelle. En effet, le cœur, qui commence à battre dès les premiers jours de la vie embryonnaire, ne s'arrête définitivement qu'à la mort. Contrairement à ce qui arrive pour tous les organes de la vie de relation et pour un bon nombre d'organes nutritifs, le cœur n'a pas d'intermittence normale ; il n'a pas besoin de repos réparateur. C'est un infatigable ouvrier et le travail qu'il accomplit durant la vie d'un homme, a quelque chose de prodigieux. De la naissance à la mort, il peut se contracter, sans se reposer, trois milliards de fois et chasser dans les tissus environ 150 millions de kilogrammes de sang. S'il se ralentit quelque peu pendant le sommeil, c'est qu'alors nombre d'organes se reposent et dépensent moins. Pendant le sommeil hibernal, où le mouvement nutritif tombe au minimum, puisque la consommation de l'oxygène diminue des dix-neuf vingtièmes (marmotte), le nombre des battements du cœur diminue des neuf dixièmes. Si le cœur était étroitement asservi au système nerveux, s'il lui obéissait toujours docilement et en attendait toujours l'excitation première, il participerait à la faiblesse fonctionnelle du système nerveux, qui est le plus intermittent des systèmes organiques, mais il n'en est pas ainsi. Le cœur séparé de l'organisme bat encore un temps plus ou moins long selon les diverses espèces. Ainsi Scoresby a vu le cœur d'un requin battre encore quelques heures après avoir été arraché du corps (Burdach, VI, 303). Le cœur commence à battre (punctum saliens) avant qu'il y ait dans l'embryon la moindre trace de système nerveux et, plus tard, chez l'adulte, quand on tue le système nerveux moteur à l'aide du curare, le cœur continue néan-

moins à palpiter. Il est même alors totalement affranchi de la dépendance des centres nerveux et l'on ne réussit plus, comme dans l'état normal, à suspendre les battements cardiaques, en irritant une des principales sources nerveuses du cœur, le nerf pneumo-gastrique (1).

En effet, dans l'état d'intégrité de l'organisme, le cœur, en dépit de son indépendance, est relié par son système nerveux au reste de l'organisme et spécialement au cerveau. L'ingestion rapide d'une boisson très-froide dans l'estomac provoque une contraction des vaisseaux du cerveau, d'où anémie de cet organe et parfois arrêt syncopal des battements du cœur, d'où peut résulter la mort (2). Un arrêt subit des battements du cœur peut encore être provoqué par un choc sur l'épigastre; il se produit quand, le cœur et les viscères d'une grenouille étant mis à nu, on frappe un coup violent sur les viscères abdominaux (3). Une douleur vive sur le trajet d'un nerf sensitif produit le même effet (4). Si l'on électrise un nerf sensitif quelconque, le cœur s'arrête dans son état de dilatation, en diastole. Même résultat sur une grenouille, si l'on électrise l'origine de la moelle épinière, la moelle allongée (5). Mais l'arrêt du cœur en diastole se produit bien plus sûrement encore, si l'on électrise les nerfs qui le relient directement au cerveau, les nerfs pneumo-gastriques.

Les impressions morales produisent le même effet. La syncope succède fréquemment à une émotion forte; c'est un fait d'observation vulgaire. Parfois les émotions pro-

(1) Saissy, Regnault. Voir Gavarret, *Des phénomènes physiques de la vie*, p. 227.

(2) R. Ganz, *Ueber die Gefahr das kalten Trunkes bei erleitztem Körper* (*Pflüger's Archiv*, 1870).

(3) Brown-Séquard, *Archives générales de médecine*, 1856, t. VIII.

(4) Cl. Bernard, *Sur la physiologie du cœur*.

(5) Vulpian, *Leçons sur la physiologie du système nerveux*, p. 853.

voquent, au contraire, une accélération tumultueuse des battements cardiaques, soit primitivement, soit consécutivement à un ralentissement. On peut aussi susciter directement des battements précipités, en touchant la paroi interne d'un ventricule avec un corps étranger, par exemple un thermomètre introduit dans le cœur (Cl. Bernard).

En dehors de toutes ces causes de perturbation, le cœur exerce sur le sang contenu dans ses cavités une pression constante et assez uniforme. Chez les mammifères, cette pression n'équivaut guère qu'à une force capable de soulever une colonne de mercure de 150 millimètres. Contrairement à toute prévision, cette pression est très-notablement inférieure à celle que subit le sang dans les artères, et pourtant le sang est rapidement chassé du cœur dans les canaux artériels. M. Schiff a donné une ingénieuse explication de ce paradoxe physiologique, en démontrant expérimentalement, que la prédominance de l'impulsion cardiaque était due à l'action combinée du choc et de l'élasticité des parois du cœur (1).

On peut maintenant se faire une idée suffisamment claire du mode fonctionnel du cœur. Les cavités cardiaques se contractent par couple, les oreillettes d'abord et ensemble, puis les ventricules.

Dans le cœur simple des poissons, le cœur n'est jamais parcouru que par du sang veineux, qui afflue d'abord dans l'oreillette, est chassé par elle dans le ventricule et de là, par une contraction ventriculaire, dans les organes respiratoires, les branchies. Chez les reptiles, où il y a deux oreillettes et un seul ventricule, le sang artérialisé revenant des surfaces respiratoires, et le sang veineux, chargé d'acide carbonique provenant des tissus, se mélangent dans ce ventricule commun.

(1) M. Schiff (travail inédit).

Chez les oiseaux et les mammifères, le sang veineux pénètre dans l'oreillette droite, passe de là dans le ventricule droit, qui le chasse dans les poumons. Là il s'oxygénise, devient vermeil, artériel, retourne au cœur; mais cette fois, dans le cœur gauche; il pénètre dans l'oreillette de ce côté, qui le refoule dans le ventricule correspondant; d'où enfin il est poussé dans le système artériel général, où nous avons maintenant à le suivre.

B. *Artères.* — Les artères, c'est-à-dire tous les vaisseaux allant en se ramifiant du cœur vers les capillaires, ont tous une paroi élastique et contractile. On a longtemps disputé sur la nature des éléments contractiles des artères jusqu'au moment où, en 1840, Henle démontra que la contractilité artérielle était due à des éléments anatomiques identiques à ceux des muscles de la vie organique (1). Ce sont des fibro-cellules fusiformes, transversalement placées relativement à l'axe du vaisseau, munies d'un noyau. Elles sont longues de cinq à sept centièmes de millimètre, larges de cinq à six millièmes de millimètre au niveau du noyau (fig. 32, B). Le mode de contraction est naturellement en rapport strict avec la nature de ces éléments anatomiques. Les contractions

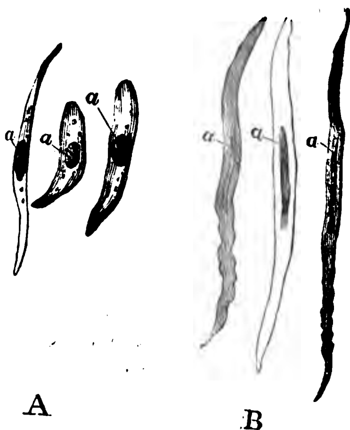


Fig. 32.
A, cellules épithéliales des artères; *a*, leur noyau. B, fibres musculaires des artères; celles du milieu ont été traitées par l'acide acétique, qui montre distinctement le noyau *a*. Grossissem. d'environ 350 diamèt.

(1) Henle, *Wochenschrift für die gesammte Heilkunde*, 1840 (n° 21).

des fibro-cellules s'effectuent lentement, progressivement, après une excitation d'une certaine durée ; en revanche, elles persistent pendant dix à quinze secondes au moins et l'artère revient lentement à son état primitif. Cette couche musculaire est d'autant plus épaisse en général, que le calibre du vaisseau est plus gros ; elle diminue au fur et à mesure de la ramification des artères, pour cesser tout à fait dans les capillaires.

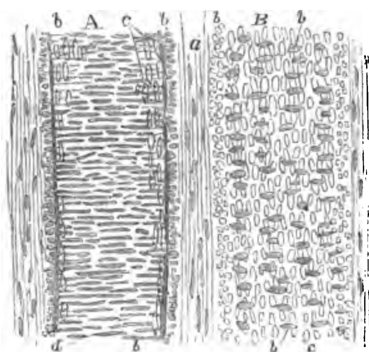


Fig. 33.

A, petite artère. B, petite veine. Toutes deux ont été traitées par l'acide acétique. *a*, tunique fibreuse ; *b*, noyaux de la tunique fibreuse ; *c*, noyaux de la tunique épithéliale. Grossissement d'environ 300 diamètres.

La contractilité artérielle est, moins que celle du cœur, indépendante du système nerveux. Les recherches expérimentales de la physiologie moderne ont, en effet, démontré l'existence de nerfs moteurs des vaisseaux ou vaso-moteurs. Nous aurons à en parler assez longuement. Quant à présent, nous devons nous borner à dire que ces nerfs semblent appartenir tous au grand sympathique. Leur section détermine la paralysie des vaisseaux, qui se dilatent ; car ils perdent alors leur tonicité, l'état de demi-contraction, qui maintient toujours le calibre artériel dans un certain degré de rétrécissement. Si l'on coupe au cou, sur un lapin, le cordon du grand sympathique, d'où émanent les nerfs vaso-moteurs de l'oreille, on voit cesser les battements rhythmiques de l'artère auriculaire, qui normalement s'effectuent cinq ou six fois par minute. Le centre nerveux excitateur de ces

mouvements ainsi que de la presque totalité du réseau nerveux vaso-moteur, serait situé à la partie supérieure de la moelle épinière. D'après des expériences de M. Schiff, la section de la moelle cervicale abolirait sur le lapin les mouvements rhythmiques dont nous avons parlé. La section complète les abolirait des deux côtés; l'hémisection les abolirait seulement du côté sectionné (1).

Si l'on peut paralyser les vaisseaux, spécialement les artères, en sectionnant les nerfs qui les animent ou le centre excitateur de ces nerfs, on peut, inversement, exciter des contractions artérielles par divers moyens. La seule action du froid suffit à déterminer la contraction même de grosses artères. Ainsi on peut sur un mouton arrêter l'hémorrhagie produite par la section d'une carotide, en appliquant sur cette section une simple éponge imbibée d'eau froide (2). Sur une jambe amputée, Kölliker détermina la contraction de l'artère poplitée et de l'artère tibiale, à l'aide d'un appareil d'induction magnéto-électrique (3). C'est là un effet que l'on obtient sur toutes les artères, en les électrisant avec des courants interrompus. M. Vulpian a vu la contraction s'effectuer lentement tout d'abord entre les deux électrodes appliqués sur le vaisseau, puis se propager jusqu'aux dernières ramifications périphériques. Les courants électriques continus, quelle que soit leur direction, agiraient d'une manière analogue (4).

Les artères, comme le cœur, ne se reposent point durant la vie. Leur action paraît même survivre à celle du cœur, qui ne mériterait plus alors d'être appelé *ultimum moriens*,

(1) Schiff, *Sur un cœur artificiel accessoire dans les lapins* (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, t. XXXIX. 1834.

(2) Vulpian, *Leçons sur l'appareil vaso-moteur*, p. 63.

(3) Kölliker, *Zeitschrift für Wissensch. Zoologie*. 1849.

(4) Vulpian, *loc. cit.*, p. 56.

comme il l'est depuis longtemps. Quand le cœur a cessé de battre, les artères se contractent encore, et comme leur action n'est plus contre-balancée par la poussée cardiaque, elles tendent à chasser le sang dans les capillaires et dans les veines, puis, quand leur tunique musculaire est morte à son tour, elles se dilatent et telle est la raison de leur vacuité sur le cadavre (1).

Il semble aujourd'hui oiseux de se demander, si les artères se dilatent, alors qu'elles sont parcourues par l'ondée sanguine, que chasse dans leurs canaux chaque contraction ou systole des ventricules cardiaques; mais le fait a donné lieu jadis à des débats entre physiologistes. Spallanzani a démontré la dilatation des gros troncs artériels et surtout du tronc commun de l'arbre artériel, de l'aorte, en entourant ce vaisseau d'un anneau métallique (2). Il a vu que, durant la systole cardiaque, le diamètre aortique augmentait d'un tiers, dans le voisinage immédiat du cœur et d'un vingtième seulement dans le reste de son trajet. D'autres expérimentateurs ont constaté par des moyens analogues des faits semblables sur les gros troncs artériels, par exemple la carotide; mais la dilatation devient de moins en moins considérable à mesure que l'artère est plus éloignée du cœur et d'un calibre plus étroit. Sur les petites branches artérielles, comme l'a fait remarquer Magendie (3), la dilatation n'est plus sensible.

Si la dilatation artérielle est incontestable dans les artères à fort calibre, et si elle dépend sûrement du passage de l'ondée sanguine, on peut se demander, si le battement, le pouls artériel a la même cause. Les anciens physiologistes, Haller, Spallanzani, etc., ont prétendu à tort

(1) Vulpian, *loc. cit.*, p. 324.

(2) Spallanzani, *Expériences sur la circulation.*

(3) Magendie, *Journal de physiologie*, t. I, p. 113.

que le battement était simultané dans tout l'arbre artériel et par conséquent ne pouvait être attribué au mouvement de translation du fluide sanguin, mais bien au choc, à la transmission de proche en proche dans la colonne liquide de l'ébranlement rapide, de l'onde vibratoire déterminée par la systole ventriculaire. On sait aujourd'hui que l'isochronisme des battements artériels n'existe pas, mais il est néanmoins vraisemblable, que la transmission vibratoire entre pour une part dans la production du pouls.

On peut maintenant se faire une idée suffisamment exacte de la circulation artérielle. A chaque systole ventriculaire, une certaine quantité de sang, en moyenne une cinquantaine de grammes, chez l'homme, est chassée du cœur dans les artères. Les valvules situées à l'orifice des troncs artériels dans le cœur, les valvules sigmoïdes, se relèvent pour laisser passer le flot, s'abaissent ensuite pour lui interdire le reflux. L'élasticité et la contractilité des artères, vaincues par cet afflux subit, cèdent ; le calibre des vaisseaux s'accroît brusquement; mais les fibro-cellules musculaires des parois artérielles, excitées par leurs nerfs vaso-moteurs, réagissent aussitôt. L'artère se resserre et imprime à l'onde sanguine une impulsion nouvelle. Naturellement, ce sont les gros troncs, ceux qui reçoivent le plus directement le choc, qui se dilatent le plus ; mais l'impulsion sanguine se dépense en partie pour cette dilatation; la contraction artérielle, qu'elle a provoquée, lui vient en aide, la supplée, dans une certaine mesure, et elle agit avec d'autant plus de continuité que le vaisseau artériel est plus éloigné du cœur, qu'il ressent moins l'effort subit de l'impulsion cardiaque. Aussi, dans les fines ramifications artérielles, le courant sanguin est sensiblement continu et uniforme; il n'y a plus guère de dilatation et de battement. C'est pourquoi on observe

dans ces petits vaisseaux une assez grande diversité de fonctionnement. De deux ramuscules artériels, émanant d'un tronc commun, l'un sera le siége d'une circulation rapide, l'autre d'une circulation lente. D'autres différences semblent dépendre des organes, dans le tissu desquels vont se distribuer les artères. Si ces organes sont le siége d'une grande dépense nutritive, d'échanges matériels importants, les contractions artérielles sont plus énergiques; car elles doivent entretenir un courant sanguin plus actif. Aussi les artères du cerveau, de la moelle, des glandes obéissent beaucoup mieux que les autres aux excitations artificielles ; elles se contractent plus vite et plus fort (1).

La circulation varie aussi d'une manière générale dans les différentes parties de l'arbre artériel ; le cours du sang se ralentit à mesure qu'il approche des capillaires. Il se ralentit, d'une part, parce que l'impulsion cardiaque se transmet avec une intensité de moins en moins grande ; d'autre part, parce que la capacité totale des ramifications artérielles est plus grande que celle des troncs d'où elles émanent.

En fin de compte, le sang artériel arrive en courant continu et uniforme dans les fines ramifications capillaires, plongeant dans la trame des tissus et reliant l'arbre artériel à l'arbre veineux. Mais ce fin réseau capillaire est le siége de phénomènes très-importants et entièrement liés aux actes primordiaux de la nutrition.

C. *Vaisseaux capillaires* (fig. 34). — Chez nombre d'invertébrés, comme nous l'avons vu, le système circulatoire se compose seulement de quelques vaisseaux principaux, hors desquels le sang circule directement dans les interstices des organes, dans des lacunes sans parois propres. Au contraire, chez d'autres invertébrés il y a de vrais vaisseaux

(1) Vulpian, *loc. cit.*, p. 64.

capillaires. Il en est ainsi, par exemple, chez les vers annelés, où les plus fines ramifications vasculaires ont leur autonomie. Chez certains insectes, il existe aussi de fins

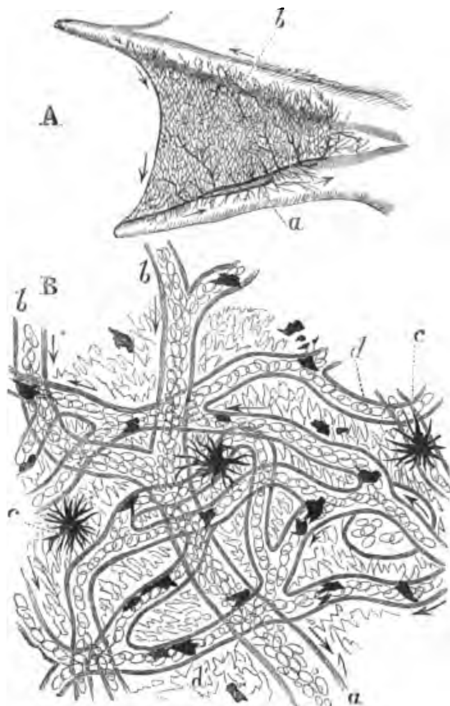


Fig. 34.

A, deux doigts de la patte d'une grenouille avec le tissu intermédiaire légèrement grossi : *a*, veines ; *b*, artères réunies par un réseau capillaire. B, petite portion du réseau grossie de 100 diamètres ; *ab*, petites veines ; *d*, capillaires tout remplis de globules ovales, se mouvant dans le sens des flèches ; *c*, cellules pigmentaires étoilées.

canalicules comparables aux capillaires. Chez les mollusques céphalopodes, on voit, dans nombre de points du corps, les artères se terminer en véritables capillaires formés

d'une membrane homogène, parsemée de noyaux allongés. Telle est, en effet, la texture des vrais capillaires, chez les vertébrés. Ce sont de fins canalicules, ayant à peu près le diamètre d'un globule sanguin. Les plus ténus ne laissent passer les globules qu'à la file. Leur diamètre varie entre $0^{mm},007$ et $0^{mm},030$. Ils sont constitués uniquement par une seule paroi épaisse de $0^{mm},001$ à $0^{mm},002$. Cette paroi, partout homogène, est parsemée de noyaux ovoïdes, dont le grand diamètre est dirigé dans le sens de l'axe du vaisseau. Si l'on suit les capillaires, soit du côté des artères, soit du côté des veines, on voit leur diamètre s'élargir peu à peu ; il passe de $0^{mm},030$ à $0^{mm},070$ et une seconde membrane ou tunique revêt la première à l'extérieur. Cette seconde membrane soudée à la première renferme des fibres cellules, transversales cette fois, qui indiquent déjà la naissance de la tunique contractile des gros vaisseaux. Enfin ces capillaires à fibro-cellules transverses se continuent avec des vaisseaux plus larges encore, de $0^{mm},060$ à $0^{mm},140$, qui, outre les deux tuniques précédentes, en ont une troisième externe, un revêtement de fibres lamineuses, longitudinales. Ces derniers vaisseaux, déjà visibles à l'œil nu, se continuent directement avec les artérioles et les veinules.

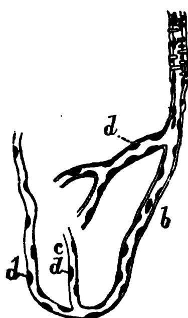


Fig. 35.
Petite artère (*a*) qui se termine en capillaires plus larges (*b*) et plus étroits (*c*); *d*, noyau incrusté dans les parois des capillaires. Grossissement d'environ 200 diamètres.

Dans diverses régions du corps, les artères ont, en dehors des capillaires, des voies de communication transverses, qui les relient directement aux veines. Ce sont des petits vaisseaux munis d'une couche musculaire relativement épaisse. Si ces vaisseaux se contractent, le sang passe forcément par le réseau capillaire,

si au contraire les derniers anneaux contractiles des artérioles se resserrent et amènent l'occlusion des capillaires, le sang passe par les vaisseaux collatéraux et dans ce cas il ne sert point à la nutrition. Ce mécanisme s'observe dans quelques glandes, notamment dans l'appareil veineux du foie, où il sert à régler la sécrétion glycogénique, à priver de sang les cellules sécrétantes ou à leur en laisser parvenir une ration convenable (1).

Nous pouvons maintenant nous faire une idée générale du rôle des capillaires dans la nutrition. Le flot sanguin chassé d'abord par le cœur, puis par les artères, se dirige vers le réseau capillaire, d'abord d'un cours saccadé, pulsatif, puis de plus en plus régulièrement. Arrivé dans les capillaires, le sang artériel se meut avec une vitesse modérée et uniforme, du moins dans l'état normal. Nous avons vu que, dans les plus fins canalicules, les globules ne passent qu'un à un et pour ainsi dire à frottement. Alors eux et le plasma, qui les baigne et les entraîne, ne sont séparés des éléments anatomiques constituant les tissus que par la mince membrane homogène, dont nous avons parlé. Les conditions osmotiques sont donc très-favorables aux échanges de fluides et de gaz. En outre, le sang est soumis à une assez forte pression. A ces conditions déjà si favorables aux échanges osmotiques viennent s'ajouter des actions électro-motrices. Ce point si intéressant de la physiologie des capillaires a été élucidé par M. Becquerel dans une série d'importants mémoires (2). Si, au moyen d'une pile, on décompose de l'eau contenue dans un vase partagé en deux compartiments par une membrane, on voit le niveau s'élever dans la case néga-

(1) Cl. Bernard, *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, p. 415, 416.

(2) *Mémoires et comptes rendus de l'Académie des sciences,* de 1867 à 1870.

tive. Il y a donc transport matériel du pôle positif au pôle négatif. Quelque chose d'analogue se produit dans les capillaires. Par suite des incessantes mutations chimiques, qui s'effectuent dans les tissus et les vaisseaux, des courants électriques se produisent. Le vaisseau capillaire est électrisé négativement à l'extérieur et positivement à l'intérieur de sa paroi. L'oxygène traverse la paroi et est déposé sur la surface externe. Quant aux globules, ils se mettent en contact avec le paroi positive interne. L'oxygène une fois infiltré dans les tissus, les oxyde, donne lieu à la production d'acide carbonique, que le courant électrique tend à faire passer à l'intérieur du capillaire. En d'autres termes, et en laissant de côté la vieille notion des deux fluides électriques, il y a entre le contenu des vaisseaux capillaires et les éléments histologiques des tissus un courant circulaire, un circuit électrique, qui entraîne l'oxygène au dehors des vaisseaux et y ramène l'acide carbonique. Nous aurons à exposer en détail ce qui a trait au rôle particulier des capillaires dans les surfaces respiratoires et dans le foie; par conséquent, nous devrions nous borner ici à parler des capillaires particulièrement nutritifs, de ceux qui servent aux échanges généraux entre le sang et les tissus. Mais sur ce point notre besogne est déjà faite et il suffit de renvoyer le lecteur aux chapitres précédents, où la nutrition a été traitée d'une manière générale. Nous avons indiqué là quelles substances sortent des capillaires pour être assimilées par les éléments anatomiques, quelles autres sont cédées au sang par les mêmes éléments anatomiques, et en parlant de la diffusion et de l'osmose, nous avons passé en revue les principales conditions physiques de ce troc nutritif. Cl. Bernard compare justement les éléments anatomiques à des animaux fixés au fond de la mer et l'onde sanguine oxygénée au flot, qui vient incessamment baigner ces animaux, en leur apportant des aliments et de l'air respirable.

Les diverses manifestations de la vie, la vie elle-même, sont étroitement dépendantes du passage de ce fleuve nourricier. Est-il momentanément interrompu dans un organe, les fonctions de cet organe sont aussitôt suspendues, et si l'interruption est de quelque durée, la mort des éléments anatomiques est fatale. Une ligature appliquée sur le tronc commun de l'arbre artériel, sur l'aorte, chez un animal, le paralyse instantanément. Inversement, on fait revivre des membres amputés et déjà en état de rigidité cadavérique; on ressuscite une tête d'animal séparée du tronc, en injectant dans les artères et par conséquent dans les capillaires, soit du sang complet, soit même du sang défibriné, mais oxygéné (1).

Mais les réseaux capillaires, plus fins, ne sont point rigides et inextensibles. S'ils ne sont pas contractiles, ils sont sûrement élastiques. Ils peuvent se dilater ou se resserrer, suivant que l'ondée sanguine, qui les parcourt, est plus ou moins abondante; or nous avons vu que les origines des vaisseaux capillaires eux-mêmes, et surtout les artérioles d'où ils partent, sont munies d'une tunique contractile, par conséquent le calibre de ces vaisseaux, et par suite le débit du courant sanguin dans les capillaires, doit être fort variable; c'est en effet ce qui arrive. Mais l'histoire des conditions principales de ces variations forme un des plus intéressants chapitres de la physiologie générale, et aussi l'un des plus importants, puisqu'il s'agit là, pour ainsi dire, du mécanisme de la nutrition.

Quantité d'agents peuvent produire, soit la contraction, soit la dilatation des capillaires. Des irritants physiques, chimiques, mécaniques, peuvent rougir la peau, c'est-à-dire amener la dilatation des capillaires. L'application

(1) Brown-Séquard, *Recherches sur le rétablissement de l'irritabilité musculaire* (*Comptes rendus et Mémoires de la Société de biologie*, 1851).

d'un mélange réfrigérant provoque d'abord la dilatation des capillaires, puis leur resserrement. La peau devient alors pâle et exsangue. Au contraire, la chaleur dilate les capillaires et les congestionne.

La lumière vive agit comme la chaleur. On a vu la lumière électrique, produite par 120 éléments Bunsen, produire un érythème cutané. De diverses expériences, faites par M. Bouchard avec des prismes et des lentilles, il résulte que ce sont les rayons chimiques du spectre lumineux, les rayons violets, qui produisent le plus vite la rougeur et la vésication.

La dilatation des capillaires peut être provoquée par irritation directe, sans que le système nerveux y intervienne; puisque, sur un embryon de poulet encore dépourvu de nerfs, il suffit de déposer une goutte de nicotine sur l'*area vasculosa*, pour déterminer une très-belle congestion (1).

Ce fait semble démontrer que les capillaires, quoique dépourvus de fibro-cellules musculaires, ont une contractilité qui leur est propre. Dans tous les cas, les capillaires à simple paroi homogène dépendent des capillaires plus gros, munis de fibro-cellules, et surtout des artérioles et artères, très-évidemment contractiles; il est donc fort naturel qu'en agissant sur le système nerveux, on puisse amener, soit le resserrement, soit la dilatation des capillaires. Une irritation vive de la peau, une violente douleur entraîne le resserrement de presque tous les capillaires (2). Si l'on excite sur un chien le bout central du nerf sciatique sectionné, on voit se contracter d'abord les vaisseaux de l'autre membre, puis ceux de tout le corps.

En appliquant de la glace sur le nerf cubital, Waller a

(1) Vulpian, *Leçons sur l'appareil vaso-moteur*, t. I, p. 171.
(2) *Ibid.*, p. 287.

vu les doigts auriculaire et annulaire rougir et leur température s'élever. Les vaisseaux sanguins dépendent donc dans une large mesure du système nerveux. La physiologie moderne a mis hors de doute ce fait intéressant, et elle a constaté l'existence de nerfs spéciaux, de nerfs moteurs des vaisseaux ou *vaso-moteurs*. La fonction des nerfs vaso-moteurs est d'une telle importance, qu'il est indispensable de la décrire brièvement.

La notion vague de nerfs, spécialement chargés de régler le débit du sang dans les vaisseaux, en faisant varier le calibre de ces vaisseaux, est fort ancienne dans la science. Déjà même, en 1727, Pourfour du Petit avait noté le fait qui, de notre temps, a conduit MM. Schiff en Allemagne et Cl. Bernard en France à la découverte des nerfs vaso-moteurs. Quiconque a ouvert un traité d'anatomie sait que la partie périphérique du système nerveux, située en dehors de la colonne vertébrale, les nerfs proprement dits, se distinguent en deux grandes catégories. L'une de ces catégories comprend des cordons lisses, cylindriques, et est affectée à la motilité et à la sensibilité ; l'autre est composée de cordons, sur le trajet desquels se trouvent des renflements ou ganglions ; c'est le système nerveux ganglionnaire, appelé depuis longtemps *système nerveux sympathique* ou *de la vie organique,* parce que ses rameaux principaux se distribuent surtout aux viscères. Nous aurons plus tard à donner une description un peu moins succincte du système nerveux ganglionnaire. Pour le moment, nous nous bornerons à dire qu'il se compose en gros de deux chaînes de ganglions, placées de chaque côté de la colonne vertébrale.

Ces ganglions, reliés entre eux par des cordons nerveux verticaux, sont, d'autre part, unis par d'autres branches nerveuses à la moelle épinière, et émettent des

rameaux nombreux, se distribuant aux viscères, pénétrant même dans tous les tissus et organes du corps, en s'accolant plus ou moins étroitement aux artères. Dans la région cervicale chez l'homme, on compte trois ganglions sympathiques cervicaux, dont le supérieur émet des fibres qui s'accolent aux rameaux artériels intracrâniens et extra-crâniens. Or, dès 1727, Pourfour du Petit avait remarqué que la section du grand sympathique au cou provoquait la congestion de l'œil, la rougeur de la conjonctive oculaire. De là à penser que la section du nerf avait paralysé les vaisseaux et que, par conséquent, il existait des nerfs vaso-moteurs, il n'y avait à faire qu'un pas, en apparence facile, et pourtant ce pas n'a été fait que de nos jours. La priorité des observations et expériences précises et bien interprétées semble appartenir à M. Schiff (1845) (1). En France, M. Cl. Bernard, qui paraît avoir alors ignoré les travaux de son devancier, donna le premier une théorie des nerfs vaso-moteurs complète, raisonnée et basée sur des expériences bien faites (2). Nous allons indiquer, sans plus nous astreindre à suivre l'ordre chronologique, les faits typiques et leur signification.

La section du nerf sympathique au cou, ou mieux l'arrachement du ganglion cervical supérieur, amène la dilatation des capillaires de la pie-mère cérébrale, de la conjonctive, de l'oreille du côté correspondant, etc. Cette dilatation s'accompagne d'une très-notable élévation de la température locale (5, 10, 15 degrés), constatée pour la pie-mère et le cerveau, en résumé, de tous les phénomènes de la congestion simple, sans inflammation. Une plaie de l'oreille du côté ainsi blessé saigne plus rapidement et plus abondamment. Le sang des veines du côté lésé

(1) *De vi motoria baseos encephali*. Bockenhemii, 1845.

(2) Cl. Bernard, *Influence du grand sympathique sur la sensibilité et la calorification* (*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1851).

contient plus d'oxygène et moins d'acide carbonique que le sang veineux ordinaire. La sensibilité est en même temps exagérée. Des phénomènes analogues s'observent sur tous les organes, dont on peut couper les nerfs sympathiques, sur le foie, les reins, les poumons, l'intestin, etc. (1).

Cette congestion n'est point inflammatoire. Elle persiste des jours et des semaines sans modification et on pourrait sans témérité affirmer qu'elle résulte d'une paralysie, en se basant uniquement sur les faits que nous venons d'énumérer, mais la contre-épreuve a été faite et elle ne laisse plus de place au doute. Si, sur un chien, dont on a sectionné le grand sympathique cervical, on provoque la rougeur de la conjonctive oculaire en instillant dans l'œil une goutte d'ammoniaque, on peut dissiper cette rougeur en galvanisant le bout supérieur du nerf coupé. De même l'électrisation du grand sympathique cervical ou mieux du ganglion cervical supérieur détermine la contraction des vaisseaux de la pie-mère du même côté (2). Sur des chiens, M. Vulpian a vu la section des nerfs rénaux être suivie de la coloration rouge du rein et de polyurie avec passage de l'albumine du sang dans l'urine. Inversement, l'électrisation des nerfs faisait pâlir la glande rénale, et abolissait la sécrétion. En résumé, l'électrisation des nerfs et des ganglions sympathiques produit des résultats diamétralement opposés à ceux de leur section ou de leur destruction, c'est-à-dire la pâleur, l'abaissement de la température, l'abolition des sécrétions, l'amoindrissement de la sensibilité.

(1) Vulpian, *Leçons sur les nerfs vaso-moteurs*, t. I, p. 94, 95, 106, 112, 531, 561.

(2) Nothnagel, *Des nerfs vaso-moteurs des vaisseaux du cerveau* (anal. in *Gazette hebdomadaire*, 1867), et Callenfels, *Ueber den Einfluss der vasomotorischen Nervens auf den Kreislauf und die Temperatur* (*Zeitschrift für ration. Med.*, 1855).

Ces phénomènes sont constants. Ils s'observent partout et toujours, sur tous les vertébrés. Il y a donc des nerfs vaso-moteurs, qu'il faudrait même diviser, suivant M. Schiff, en nerfs vaso-constricteurs et nerfs vaso-dilatateurs.

On a suivi anatomiquement les derniers filets nerveux vaso-moteurs jusque sur les capillaires du second degré, déjà munis de fibro-cellules. Évidemment les nerfs ne sauraient avoir d'action directe sur les plus fins capillaires tout à fait dépourvus d'éléments contractiles. C'est en agissant sur les artères, les artérioles et les capillaires du second et du troisième degré, qu'ils obstruent ou facilitent plus ou moins complétement le passage du courant sanguin, modifiant ainsi en moins ou en plus la ration alimentaire des éléments organiques.

Nous avons vu plus haut, que le système nerveux ganglionnaire ou grand sympathique tire de la moelle épinière de nombreuses et importantes racines ; il est donc très-naturel, que les lésions des centres nerveux réagissent sur les nerfs vaso-moteurs et que diverses excitations puissent se transmettre indirectement aux mêmes nerfs, en se réfléchissant sur les centres nerveux, c'est-à-dire par action réflexe.

En effet, une lésion des pédoncules cérébraux et des couches optiques détermine une dilatation des capillaires abdominaux, de ceux surtout du foie et de l'estomac. L'électrisation de la moelle au niveau des premières vertèbres dorsales agit exactement comme l'électrisation directe du cordon sympathique cervical ; elle provoque la contraction des vaisseaux de la tête, l'abaissement de température, la dilatation de la pupille oculaire, etc. L'électrisation de la moelle épinière à son origine, du bulbe rachidien, détermine la constriction de tous les vaisseaux du corps (Bezold-Ludwig, etc.) (1). Au contraire, la piqûre,

(1) Vulpian, *loc. cit.*, p. 210, 218, 220, 221.

les agents chimiques causent une dilatation générale des artérioles. C'est pour cette raison que Cl. Bernard, en piquant le plancher du quatrième ventricule cérébral, a pu occasionner du diabète sucré, etc. En pratiquant de bas en haut des hémisections et des sections totales de la moelle épinière, M. Schiff a été amené à considérer le bulbe rachidien comme le centre général de tous les nerfs vaso-moteurs du corps.

Puisque les nerfs vaso-moteurs ont leur centre excitateur dans le bulbe et la moelle, ou, tout au moins, ont des liens très-étroits avec ces régions, il est fort naturel qu'ils soient très-susceptibles de subir des actions réflexes, et, en effet, toute excitation du bout central d'un nerf sectionné réagit sur les nerfs vaso-moteurs, généralement en déterminant des contractions vasculaires. Des effets analogues se produisent d'ailleurs incessamment, normalement, et sans la moindre vivisection, dans tout organisme vertébré. Toute excitation sensitive un peu forte, ayant son point de départ soit à la surface cutanée, soit sur une surface muqueuse, soit dans un des organes des sens, peut réagir sur la circulation capillaire. Tout le monde sait que les fortes impressions morales, les émotions, produisent les mêmes effets. Le changement de coloration des joues est un signe banal des émotions fortes, surtout chez les jeunes gens et chez les femmes, c'est-à-dire là où l'impressionnabilité est plus vive et les actions réflexes plus faciles. Les changements de coloration sont loin de coïncider toujours avec des battements cardiaques anormaux ; leur raison physiologique est une action vaso-motrice réflexe.

En physiologie et en pathologie, le rôle des nerfs vaso-moteurs et des capillaires qui en dépendent est énorme. Les variations dans le calibre des petits vaisseaux règlent le débit du sang dans l'intimité même des tissus et agis-

sent ainsi directement sur la nutrition, par conséquent sur le fonctionnement des organes. En règle générale, toute dilatation modérée des capillaires d'un organe a pour effet une suractivité de cet organe, quel qu'il soit, glande, muscle, cerveau, etc., etc. Au contraire, toute contraction trop grande entraîne après soi un ralentissement nutritif et un amoindrissement fonctionnel, puisqu'elle diminue la quantité de sang artériel passant dans un temps donné à portée des éléments anatomiques, et par conséquent la proportion des échanges liquides et gazeux, dont les capillaires sont le siége principal.

Après avoir, en circulant dans les capillaires, fourni aux éléments anatomiques des matériaux assimilables et repris les substances usées; après avoir cédé en même temps l'oxygène nécessaire aux transformations chimiques nutritives et reçu en retour l'acide carbonique, produit des combustions vitales, le sang artériel, auparavant vermeil, devient sang veineux, sang noir, et passe des capillaires dans des vaisseaux de plus en plus volumineux. Ces vaisseaux sont d'abord semblables aux dernières artérioles qui aboutissent aux capillaires, puis peu à peu leurs tuniques musculaire et élastique s'amincissent, quelques fibres contractiles longitudinales croisent les circulaires; les parois vasculaires deviennent moins rigides ; les vaisseaux sont devenus veineux. Ils vont ainsi s'anastomosant les uns avec les autres, augmentant toujours de calibre, pour se réduire chez les mammifères à deux gros troncs dits *veines caves*. De ces deux troncs, le supérieur reçoit le sang veineux de la moitié supérieure du corps ; l'autre est le tronc commun des veines de la moitié inférieure. Tous deux se jettent dans l'oreillette droite du cœur, d'où l'ondée sanguine veineuse passe dans le ventricule correspondant, qui la chasse à son tour dans les poumons, où elle s'oxygénise, s'artérialise, pour

retourner dans l'oreillette gauche, passer dans le ventricule du même côté et recommencer le cycle.

L'impulsion du cœur, déjà peu sensible dans les capillaires, où le sang se meut d'un cours continu, semble à peu près nulle dans les veines. Là, les causes de la circulation sont surtout le reflux des liquides exhalés par les éléments anatomiques, et principalement l'élasticité et la contractilité des canaux veineux, dans la plupart desquels, d'ailleurs, toute rétrogradation du courant sanguin est rendue impossible par des valvules disposées de telle sorte qu'elles laissent la voie libre du côté du cœur, mais peuvent la fermer du côté des capillaires.

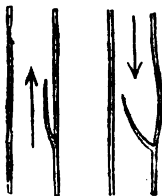


Fig. 36.
Sections schématiques des veines munies de valvules. Le sang coule dans la direction des flèches.

Le grand système d'irrigation sanguine que nous venons de décrire fonctionne ainsi, sans repos ni trêve, tant que dure la vie. Sans cesse, un flot de liquide nourricier le parcourt; ce flot s'use dans les tissus, se répare aux dépens des substances élaborées par l'appareil digestif, renouvelle son gaz vivifiant dans les capillaires respiratoires, s'épuise dans les capillaires des glandes. C'est littéralement un fleuve vivant. Mais, à côté du grand système sanguin existe un autre réseau, dont nous avons maintenant à nous occuper.

CHAPITRE XIV.

CIRCULATION LYMPHATIQUE.

La circulation lymphatique ne semble pas exister chez les invertébrés, à moins qu'on ne considère comme de la lymphe le liquide nutritif incolore qui chemine dans les vaisseaux rudimentaires de beaucoup d'entre eux. Pourtant on a prétendu reconnaître une circulation lymphatique chez les hirudinées, pourvues, d'ailleurs, d'un système circulatoire assez complet (1).

L'appareil lymphatique est bien un appareil de perfectionnement; car il manque encore chez l'amphioxus et n'apparaît chez l'embryon vertébré qu'à la période tardive où les réseaux veineux et artériel sont déjà différenciés (2). La manière dont le système lymphatique se complique peu à peu dans la série des vertébrés est intéressante; car elle suggère des conjectures sur le rôle physiologique de ce système.

Chez les vertébrés inférieurs, les lymphatiques sont surtout représentés par des sortes de gaînes plus ou moins complètes entourant les vaisseaux sanguins, spécialement les artères (fig. 37). Chez les poissons et les batraciens, on retrouve cette disposition jusqu'autour de l'aorte. Chez tous les vertébrés, du reste, les fins réseaux lymphatiques, les réseaux d'origine, sorte de capillaires lymphatiques, sont accolés aux capillaires sanguins, de telle sorte que ces derniers forment une partie de leurs parois. Chez tous les vertébrés encore, les lymphatiques engaînent les vaisseaux sanguins des centres nerveux, qu'ils isolent ainsi de

(1) Leydig, *Traité d'histologie de l'homme et des animaux.*

(2) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 9.

la substance nerveuse. C'est cette étroite union des réseaux sanguin et lymphatique qui avait fait croire à beaucoup d'anatomistes que le cerveau n'avait pas de vaisseaux lymphatiques (1).

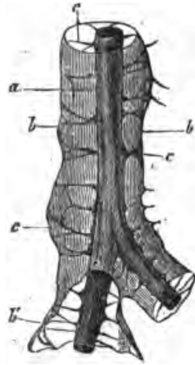


Fig. 37.
Fragment d'aorte d'une tortue (chelydra), entouré d'une large cavité lymphatique : *a*, aorte ; *b*, paroi externe de la cavité lymphatique enlevée en *b'*; *c*, trabécules attachant le vaisseau sanguin aux parois de la cavité lymphatique.

Mais les fins canaux lymphatiques ne semblent pas avoir toujours de parois propres; ce seraient alors des sortes de lacunes du tissu conjonctif.

Chez les vertébrés inférieurs, les lymphatiques communiquent avec les veines par des branches nombreuses. Chez les reptiles, les principaux vaisseaux lymphatiques ont déjà quelques valvules rares et insuffisantes.

Nombre de reptiles ont des cœurs lymphatiques, que l'on retrouve, d'ailleurs, chez certains poissons, chez des amphibies et même chez les oiseaux (fig. 38). Ces cœurs sont des dilatations partielles des vaisseaux et sont animés de battements réguliers; on y a compté 60 battements à la minute chez la grenouille. En ces points spéciaux, la paroi lymphatique, qui ailleurs a à peu près la texture anatomique des veines, se revêt d'une couche musculaire épaisse et striée.

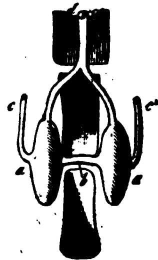


Fig. 38.
aa, sinus caudal; *b*, anastomose transverse; *c*, vaisseaux latéraux; *d*, origine de la veine caudale chez le *silurus glanis*.

On sait que chez les mammifères et l'homme le système lymphatique est constitué par de très-fins réseaux capillaires, situés dans l'épaisseur des organes,

(1) Ch. Robin, *loc. cit.*, p. 214, 315.

dans les muqueuses et la peau. De ces réseaux partent des vaisseaux qui se jettent les uns dans les autres, en formant des troncs de plus en plus gros et de moins en moins nombreux. Enfin tout le système se relie au système veineux par deux canaux. Le plus petit de ces canaux reçoit la lymphe de la moitié droite du tronc et de la tête; il se jette dans la veine sous-clavière du même côté. L'autre, plus gros, connu sous le nom de *canal thoracique,* reçoit la lymphe du reste du corps et a son embouchure dans la veine sous-clavière gauche. Chez l'homme, le réseau lymphatique ne semble pas avoir d'autres communications directes avec le système sanguin.



Fig. 39.

Canal thoracique reposant sur la colonne vertébrale. Dilatation et réservoir du canal thoracique en *a;* son embouchure dans la veine sous-clavière gauche (*g*); *d,* glandes lymphatiques.

Après chaque repas, les lymphatiques de l'intestin, les chylifères, se gonflent et deviennent lactescents; si alors on lie le canal thoracique, on le voit se gonfler au-dessous de la ligature et la lymphe en peut jaillir par une piqûre; cela seul suffirait à prouver que la lymphe se déverse dans le sang, et la disposition des valvules lymphatiques confirme encore le fait. Mais, sur son trajet, la lymphe rencontre des organes spéciaux, des renflements ou des glandes closes, où elle paraît s'approvisionner de globules blancs.

Ces organes importants sont aussi soumis à la loi de graduelle différenciation. Chez les poissons, on trouve de

loin en loin, sur le trajet de quelques vaisseaux lymphatiques, de simples renflements, où des globules se forment dans des mailles de tissu cellulaire.

Chez les reptiles, il y a déjà des organes formateurs plus parfaits; ce sont les follicules clos ou *glandes de Peyer*, disséminées dans l'épaisseur de la muqueuse intestinale. Ces follicules sont constitués par des vésicules closes, remplies de cellules à noyau; ils sont plus nombreux chez les mammifères, et largement aidés dans leur production cellulaire par des organes de structure analogue, variant du volume d'une lentille à celui d'une noisette, et disséminés sur le trajet des vaisseaux lymphatiques; ce sont les ganglions lymphatiques, qui se rencontrent déjà à la région du cou chez les oiseaux. Les vaisseaux lymphatiques se subdivisent en fins canalicules afférents avant d'aborder un ganglion, et, de l'autre côté de la glande, le vaisseau ne se reforme aussi qu'aux dépens de canalicules efférents analogues. Quant aux ganglions, ils sont, comme les glandes de Peyer, essentiellement constitués par des vésicules, grosses au moins d'un dixième de millimètre et remplies de cellules à noyau, ayant environ cinq millièmes de millimètre de diamètre. Par la rupture des vésicules, les cellules deviennent libres et sont entraînées par le plasma lymphatique.

Comme nous l'avons vu, la lymphe est un liquide vivant, jouant dans la nutrition un rôle important; aussi la ligature du canal thoracique entraîne l'amaigrissement rapide des mammifères et leur mort au bout d'un petit nombre de jours.

En s'appuyant sur les données précédentes, on peut faire des conjectures assez vraisemblables sur le rôle physiologique du système lymphatique. La lymphe a dans l'organisme vertébré une double origine. Une notable fraction des substances qui la constituent est puisée dans la

muqueuse intestinale. C'est principalement par cette voie que les corps gras émulsionnés pénètrent dans la circulation. Mais les réseaux lymphatiques d'origine du reste du corps paraissent recueillir surtout une partie du plasma, tout élaboré, qui sort par osmose à travers la paroi des vaisseaux, et spécialement des fines artères et des capillaires. A ce plasma sanguin vient vraisemblablement se joindre une partie du blastème intercellulaire, c'est-à-dire du liquide assimilable qui baigne les éléments anatomiques en dehors des vaisseaux. Le tout forme d'abord une sorte de sang dépourvu de globules, un plasma limpide, mais aux dépens de ce plasma se forment dans les ganglions des globules blancs. Alors la lymphe est complète, et elle a la plus grande analogie de composition chimique et morphologique avec le sang, dans lequel elle finit par se jeter. Il y manque des globules rouges; mais il est vraisemblable que ceux-ci se forment, dans le système vasculaire sanguin, aux dépens des globules blancs de la lymphe et de ceux qui se génèrent dans diverses glandes closes, d'une texture générale analogue à celle des ganglions. Nous voulons parler des glandes dites *sanguines*, de la rate, de la glande thyroïde, etc.

La métamorphose des globules blancs lymphatiques en globules rouges sanguins est presque directement établie par le fait suivant :

Burdach, ayant recueilli sur un verre de montre quelques gouttes de la lymphe d'un chien, plongea le tout dans un vase plein d'oxygène, qu'il boucha hermétiquement. Au bout de vingt-quatre heures, dit-il, il y avait eu coagulation, et un caillot *rouge* flottait dans le sérum. Au microscope, Burdach dit avoir vu dans ce caillot des globules jaunâtres, ovalaires, biconvexes, plus petits que les globules sanguins (1).

(1) Burdach, *Traité de physiologie*, t. II, p. 541.

En résumé, le système lymphatique est un auxiliaire du système veineux, avec lequel, d'ailleurs, il communique largement chez les vertébrés inférieurs; mais sa fonction n'est pas seulement de ramener au cœur et aux organes respiratoires du sang déjà vicié par le jeu de la nutrition; il se charge encore de suppléer aux imperfections du système circulatoire sanguin, en recueillant une partie du plasma non utilisé, et enfin, aux dépens de ce plasma et des liquides assimilables puisés dans l'intestin, il fabrique des globules blancs.

Le mouvement de la lymphe dans les vaisseaux lymphatiques est aussi curieux à noter. Des causes de propulsion que nous avons indiquées dans la circulation sanguine, l'une, la contraction cardiaque, fait ici défaut. Néanmoins la lymphe chemine, et même avec une notable vitesse, puisqu'elle jaillit quand on pique le canal thoracique au-dessous d'une ligature. Or son mouvement de translation n'a que deux causes possibles, la pression exercée par l'absorption même dans les fins canalicules, la *vis à tergo*, et, comme force auxiliaire, la contraction des parois, c'est-à-dire les principaux agents de la circulation dans les veines. On peut donc en conclure par analogie que, dans le système circulatoire sanguin, le cœur est simplement un organe de renfort, et qu'une très-grande partie du travail propulseur s'accomplit par les vaisseaux eux-mêmes.

CHAPITRE XV.

DES ORGANES RESPIRATOIRES DANS LE RÈGNE ANIMAL.

Le phénomène fondamental de la respiration est fort simple ; c'est uniquement l'échange de l'acide carbonique et de l'eau contenus dans un organisme contre l'oxygène aérien. C'est un phénomène physique, régi dans son ensemble par les lois de l'osmose. Dans la respiration, l'eau qui s'échappe du corps organisé est à l'état de vapeur. Mais l'acide carbonique expulsé résulte de l'oxydation de la substance organisée, par conséquent la respiration est très-étroitement liée à la nutrition. Elle a pour objet de ventiler l'organisme, de renouveler l'air du milieu intérieur. Comme il n'y a pas de nutrition sans absorption d'oxygène, la respiration est une fonction primordiale ; elle s'effectue au sein de toute substance vivante. On a objecté à la généralité de cette loi, que certains infusoires, par exemple certains vibrions, etc., etc., pouvaient vivre dans un milieu chargé d'acide carbonique et dépourvu d'oxygène. L'exception ne saurait être admise sans des preuves solides, qui font encore défaut. De ces prétendus animalcules, certains sont pourvus de chlorophylle, ce sont plutôt des végétaux ; si le fait était vrai pour les autres, il en faudrait simplement conclure qu'ils ont la propriété de prendre leur oxygène à l'acide carbonique lui-même, en le décomposant. Le monde organisé tout entier absorbe de l'oxygène et a besoin d'en absorber. Ce n'est pas sans raison que les anciens avaient fait des synonymes des verbes *respirer* et *vivre*. Tout être organisé, végétal ou animal, meurt plus ou moins rapidement quand il est sevré d'air, et toujours l'abstinence

aérienne est supportée infiniment moins longtemps que l'abstinence alimentaire; toujours elle est d'autant plus rapidement mortelle, que la nutrition est plus active.

Chez les protozoaires, l'échange de gaz se fait par le corps tout entier; l'oxygène imprègne la petite masse protoplasmique, s'y transforme en acide carbonique et sort comme il était entré, par simple jeu d'osmose. Le mouvement protoplasmique, surtout quand il y a émission et rétraction de pseudopodes, aide d'ailleurs beaucoup à l'accomplissement du phénomène, en multipliant les contacts. Ce procédé infiniment simple ne diffère pas, au fond, des procédés à différenciation complexe, autant qu'il le semblerait à première vue. En définitive, au sein des organismes supérieurs, chaque élément anatomique se comporte vis-à-vis de l'air comme le fait le protozoaire amorphe ou monocellulaire. Ce qui diffère, ce sont les appareils grâce auxquels l'élément anatomique est mis en rapport avec l'atmosphère extérieure.

Toute surface organisée non revêtue d'un enduit imperméable, naturel ou artificiel, respire plus ou moins.

En maintenant dans des vases clos des reptiles auxquels il avait enlevé les poumons, Spallanzani constata que, chez ces animaux, la peau fonctionnait comme organe respiratoire plus que les poumons eux-mêmes.

W. Edwards a vu des grenouilles, dont les poumons étaient enlevés ou dont le cou était serré par une ligature, vivre vingt ou quarante jours sur du sable humide dans une chambre où la température était de + 12 degrés. Si au contraire on les plongeait dans l'eau, où leurs téguments n'étaient plus en contact qu'avec l'air dissous, elles périssaient en trois jours.

Humboldt et Provençal maintinrent dans des vases bien séparés le corps et la tête d'une tanche et ils constatèrent que le corps absorbait de l'oxygène, en un mot, respirait.

Même chez les mammifères où il existe un appareil respiratoire volumineux et à vaste surface, la peau joue un rôle respiratoire important. Un mammifère se refroidit et meurt quand on recouvre sa peau d'un vernis imperméable (1). Si, chez un mammifère, on maintient, à l'aide d'une cloche, de l'air en contact avec la peau, cet air s'altère absolument comme dans les poumons.

Mais, comme nous l'avons vu précédemment, les fins vaisseaux capillaires sont, de toutes les parties du corps des animaux complexes, les mieux organisés pour les échanges, quels qu'ils soient, entre le milieu intérieur et le milieu extérieur ; par conséquent, une surface organisée, en contact avec l'atmosphère, respirera d'autant plus facilement et énergiquement, qu'elle sera mieux pourvue de vaisseaux capillaires et que ces vaisseaux seront en contact plus immédiat avec l'air extérieur (fig. 49 et 52). Riche vascularisation capillaire, contact facile avec les gaz aériens : telles sont les deux conditions principales d'une bonne surface respiratoire, et ces conditions se rencontrent très-bien en dehors des organes respiratoires proprement dits ; c'est ainsi que la loche d'étang (*cobitis fossilis*) respire en partie par l'intestin. Chez cet animal, la muqueuse intestinale étant extraordinairement vasculaire, presque entièrement constituée par des capillaires sanguins reliés par un peu de substance conjonctive, l'animal se sert de cette surface comme d'un organe respiratoire ; il avale de l'air, qui, au contact des capillaires intestinaux, est échangé pour de l'acide carbonique, que l'intestin expulse (2).

Néanmoins, tout animal quelque peu complexe a des points de sa surface extérieure ou intérieure spécialement chargés de l'échange gazeux respiratoire. Il va de soi que,

(1) Fourcault, *Influence des enduits imperméables*, etc. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XVI).

(2) Leydig, *Traité d'histologie*, etc., p. 427.

pour le système respiratoire, comme pour tous les autres, la spécialisation est d'autant plus parfaite que l'animal est plus élevé dans la hiérarchie. Avant de passer rapidement en revue sous ce rapport les divers groupes du règne animal, il est utile de définir quelques termes qui reviendront souvent dans la description.

On appelle ordinairement *branchies* tous les appendices, toutes les surfaces vasculaires servant à la respiration aquatique, tous les appareils spécialement chargés d'absorber l'oxygène dissous dans l'eau et d'abandonner en échange de l'acide carbonique. Les organes de la respiration aérienne peuvent se diviser, d'une manière générale, en deux catégories, les *trachées* et les *poumons*. Les trachées sont des canaux plus ou moins ramifiés, toujours ouverts, plongeant dans l'intérieur du corps et ne communiquant avec l'air extérieur que par d'étroites ouvertures. Les *poumons* sont des sacs internes, tantôt simples, tantôt subdivisés en loges plus ou moins nombreuses ; ils communiquent aussi avec l'extérieur par des orifices ou des conduits plus ou moins étroits.

Comme toutes les classifications organiques, celle des appareils respiratoires souffre nombre d'exceptions ; il y a des formes mixtes, des types transitoires ou confus. Ainsi les *trachées* sont des organes respiratoires aériens, d'après la définition ; mais on peut en rapprocher les systèmes vasculaires ramifiés où l'eau circule chez beaucoup d'invertébrés ; les poumons des araignées peuvent être considérés comme des trachées modifiées, etc., etc.

Chez nombre d'invertébrés inférieurs (turbellariés, némertiens, annélides), il n'y a pas d'organes spéciaux affectés à la respiration. L'échange gazeux est effectué par les téguments souvent munis de cils vibratiles. Cette dernière disposition anatomique se retrouve, comme nous le verrons, sur la muqueuse des voies respiratoires de beau-

coup d'animaux supérieurs. Quand l'eau pénètre dans la cavité du corps, la surface de cette cavité joue aussi un rôle respiratoire, d'autant plus important que le renouvellement, la circulation de l'eau y sont plus rapides.

Les branchies apparaissent chez les annelés ; ce sont, comme chez la plupart des invertébrés, des appendices saillants du tégument externe. Différents organes, particulièrement les cirrhes dorsaux, se vascularisent et deviennent des branchies en touffes plus ou moins ramifiées (fig. 40).

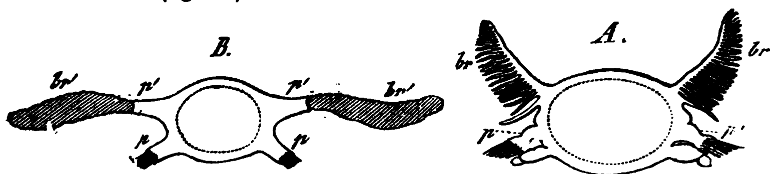


Fig. 40.

Coupes transversales de vers annelés, pour montrer l'homologie existant entre les branchies et les cirrhes.— A, coupe d'*eunice ;* B, de *myrianide ; p,* parapode abdominal; *p'*, parapode dorsal ; *br,* branchies ; *br'*, cirrhes.

Chez les *tuniciers,* il y a une sorte de poche respiratoire; c'est la partie antérieure du tube digestif. Cette portion se dilate en sac, au fond duquel commence le vrai tube digestif.

Chez les *holothuries*, il existe un système de canaux aquifères vraisemblablement respiratoires; c'est un arbre double, dont les deux orifices s'ouvrent dans le cloaque. Ce cloaque reçoit l'eau et la projette vivement au dehors, en moyenne trois fois par minute (fig. 41). Des systèmes analogues existent chez beaucoup d'autres échinodermes, et souvent ils sont tapissés de cils vibratiles (1).

Les *crustacés* respirent par des branchies, qui souvent sont des appendices externes. Tantôt ce sont des appen-

(1) Dugès, *loc. cit.*, t. II, p. 355.

dices abdominaux, tantôt ce sont des pattes ou des portions de pattes modifiées. Chez les décapodes, on trouve des branchies enfermées dans des cavités munies d'organes tourbillonnants, faisant circuler l'eau.

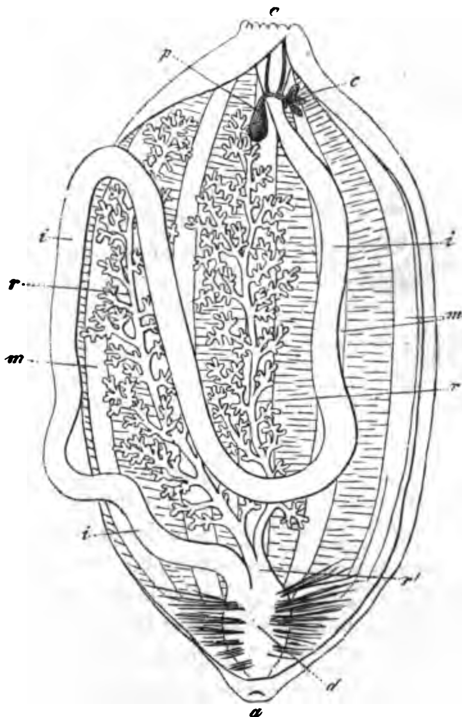


Fig. 41.

Canal intestinal et organes ramifiés d'une *holothurie : o,* bouche ; *i,* tube intestinal ; *d,* cloaque ; *a,* anus ; *c,* canal pierreux ramifié ; *p,* vésicule de Poli ; *r, r,.* organes arborescents; *r',* leur réunion au point d'intersection sur le cloaque ; *m,* muscles longitudinaux du corps.

Chez un certain nombre d'arachnides, chez les myriapodes, et surtout chez les insectes, la respiration se fait

par des trachées que baigne extérieurement le liquide nourricier de l'animal (fig. 43). Les trachées forment alors un système de canaux dont les ramifications dernières constituent un fin réseau analogue, pour la disposition, aux réseaux capillaires (1). Les troncs principaux sont maintenus ouverts par une bandelette chitineuse roulée en spirale et formant le squelette de la trachée. Ces trachées communiquent au dehors par des orifices déterminés appelés *stigmates*. L'introduction et l'expulsion de l'air des trachées semblent être favorisées par des mouvements réguliers des parois abdominales. Ces mouvements rhythmiques sont fréquents; on en peut compter en moyenne 25 chez le cerf-volant, 50 à 55 chez la locuste verte. Malgré la perfection relative de leur appareil respiratoire et l'activité de leur vie, les insectes résistent longtemps à l'asphyxie. Ainsi Lyonnet a vu revivre des chenilles qui avaient séjourné sous l'eau pendant dix-huit jours.

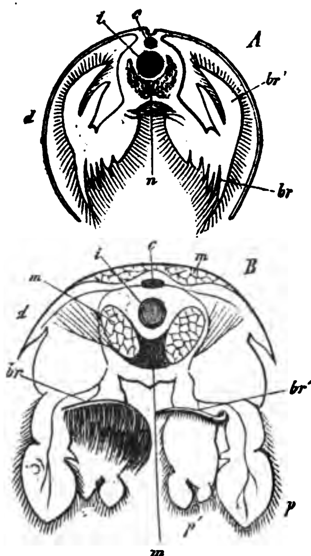


Fig. 42.

A, coupe transversale d'un phyllopode (Limnetis). La coupe passe par le segment qui porte la première paire de pattes. *i*, canal intestinal; *c*, cœur; *n*, moelle ventrale; *d*, repli des téguments, formant une coque cachant les membres; *br*, pattes natatoires. — B, coupe transversale de *squalla* (par l'abdomen). *i, c, n*, comme dans A; *m*, muscles; *d*, repli tégumentaire; *p*, parties lamellaires externes; *p'*, internes; *br*, *branchies*.

Faut-il aussi, avec de Blainville, considérer comme

(1) Leydig, *loc. cit.*, p. 440.

des branchies aériennes les ailes des insectes, qui souvent sont le siége d'une circulation active?

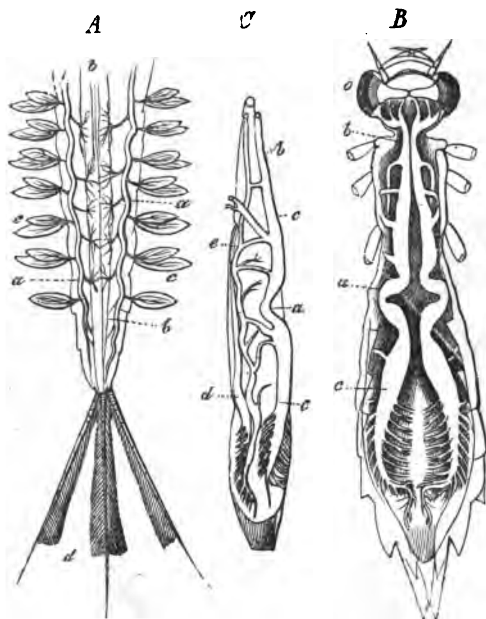


Fig. 43.

A, partie postérieure du corps de la larve d'*ephemera vulgata* : *a*, tronc longitudinal trachéen ; *b*, canal intestinal ; *c*, branchies trachéennes ; *d*, appendices plumeux de la queue. — B, larve d'*æschna grandis* (la partie dorsale des téguments est enlevée) : *a*, troncs trachéens longitudinaux supérieurs ; *b*, leur extrémité antérieure ; *c*, leur partie supérieure se ramifiant sur le rectum ; *o*, yeux.— La figure C du milieu représente l'intestin de la màme larve vu de côté : *d*, tronc trachéen latéral inférieur ; *e*, communications avec le tronc supérieur ; *a*, *b*, *c*, comme dans la figure B.

Les *mollusques*, étant en très-grande majorité aquatiques, respirent par des branchies, qui, en général, sont visiblement des prolongements, des appendices cutanés. Ces appendices sont tantôt de simples replis, tantôt des prolongements feuilletés ou pectiniformes. Ils sont ordi-

nairement parcourus par des vaisseaux dont le sang retourne ensuite au cœur (fig. 44 et 45). Quand les vaisseaux manquent, il y a au moins des cavités lacunaires. Mais, quoique ces branchies soient visiblement des organes respiratoires, elles sont bien loin d'être seules chargées de la respiration. La peau leur vient en aide et respire aussi. Parfois même il n'y a pas de branchies, la respiration s'ef-

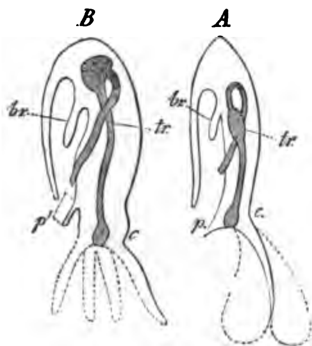


Fig. 44.

Coupes verticales schématiques des types *ptéropode* (A) et *céphalopode* (B). La tête est dirigée en bas. *c*, partie céphalique avec indication en A des nageoires qui en font partie, en B des bras; *tr*, canal intestinal; *br*, branchies; *p*, pied.



Fig. 45.

Polycera cristata vu du côté dorsal : *a*, orifice anal; *br*, branchies; *t*, tentacules.

fectue tout entière par la surface cutanée et par la surface intestinale. Cette dernière surface est, d'ailleurs, revêtue d'un épithélium vibratile, comme celui des branchies, et les mouvements oscillatoires de ces cils se font de l'anus vers l'estomac. L'anus s'ouvre et se ferme par un mouvement rhythmique, et un courant continu pénètre jusque dans le voisinage de l'estomac (Gegenbaur).

Dans un petit groupe de mollusques, l'organe pulmonaire apparaît. Chez ces mollusques *pulmonés*, le poumon

n'est encore qu'un sac simple, une dépression cutanée, communiquant avec l'extérieur par un orifice. Certains, comme l'*ampullaria,* ont en même temps une branchie et un sac pulmonaire à orifice contractile. De ces pulmonés, les uns sont terrestres, les autres aquatiques, et ces derniers viennent souvent respirer à la surface de l'eau. Ils ont besoin de l'atmosphère libre et, en vase clos, comme l'a vu Spallanzani, ils transforment en acide carbonique, et sans s'asphyxier immédiatement, la totalité de l'oxygène contenu dans le milieu confiné.



Fig. 46.
Organes respiratoires du *myxine glutinosa* vus du côté du ventre : *o,* œsophage ; *i,* canaux branchiaux internes ; *br,* sacs branchiaux ; *br',* canaux branchiaux externes se réunissant en un conduit branchial commun s'ouvrant en *s* ; *c,* canal œsophago-cutané ; *'a,* oreillette du cœur ; *v,* ventricule; *ab,* artère branchiale envoyant une branche à chaque branchie; *d,* paroi du corps rejetée en dehors et en arrière.

Les deux principaux modes respiratoires, le mode branchial et le mode pulmonaire, s'observent chez les *vertébrés,* mais à un plus haut degré de perfectionnement. Ici le tégument externe respire encore, mais accessoirement, et le gros de la fonction est accompli par les organes spéciaux. Néanmoins l'appareil respiratoire est toujours plus ou moins relié au canal intestinal ; il semble en être un diverticulum. Chez les poissons, où l'appareil branchial atteint son maximum de développement, il est supporté par des arcs appartenant au squelette viscéral (fig. 46 et 47). L'eau pénètre par la bouche de l'animal et n'est expulsée qu'après avoir traversé les fentes branchiales et baigné la surface de la muqueuse

respiratoire. Les amphibiens ont des branchies externes, sous forme de feuillets ou de filaments ramifiés supportés par les arcs branchiaux.

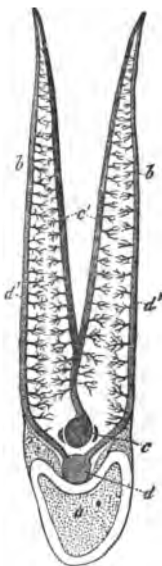


Fig. 47.
Distribution vasculaire dans les lames branchiales : *a*, coupe de l'arc branchial osseux; *bb*, deux lamelles branchiales; *c*, artères branchiales; *c'*, ramuscules des artères dans les lamelles; *d*, veines branchiales ; *d'*, *d'*, ramuscules veineux dans les lamelles.

Le poumon, dans sa forme la plus élémentaire, est un simple sac vasculaire. Il apparaît d'abord chez les amphibiens, où il coexiste avec les branchies dont nous avons parlé ci-desus, et qui sont parfois temporaires, parfois permanentes (pérennibranches). Les poumons des *protées* ne sont encore que des sacs allongés. Nombre de reptiles ont aussi des poumons simples. Chez les anoures, le poumon se subdivise déjà en cavités secondaires ou alvéoles, qui augmentent considérablement la surface respiratoire.

On a voulu considérer comme un organe respiratoire rudimentaire ou supplémentaire la vessie natatoire des poissons (fig. 48). Il est certain que l'on trouve dans cette cavité de l'acide carbonique, de l'azote, de l'hydrogène ; on y rencontre aussi parfois d'énormes proportions d'oxygène. D'après Biot et Laroche, cette proportion pourrait s'élever à 70 pour 100 chez les poissons pêchés à plus de 50 mètres de profondeur, et seulement de 26 à 29 pour 100 chez les autres, quoique les couches d'eau profondes ne soient pas plus oxygénées que les couches superficielles.

En réalité, et abstraction faite de la forme générale des appareils, il n'y a pas de différence fondamentale entre les branchies et les poumons. Les branchies peuvent même fonctionner à l'air libre, à la seule condition d'être

maintenues dans un état de suffisante humidité, et, d'autre part, la surface des muqueuses pulmonaires est constamment lubrifiée par une sécrétion liquide. On peut nourrir des carpes en plein air dans de la mousse imbibée

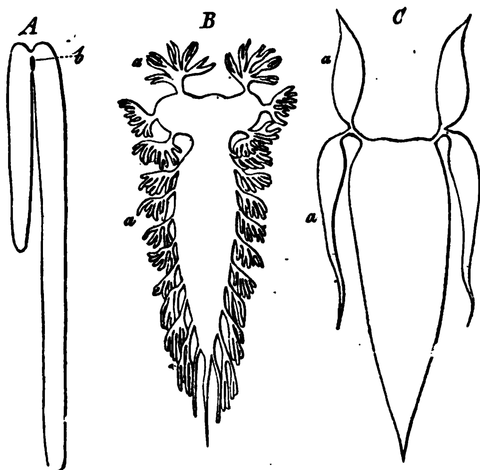


Fig. 48.
Formes diverses de vessies natatoires : A, *polypterus bichir;* B, *johnius lobatus;* C, *corvina trispinosa;* *a,* annexes de la vessie ; *b,* son orifice.

d'eau; on peut, sans les tuer, leur faire faire ainsi d'assez longs voyages. Surfaces branchiales et surfaces pulmonaires absorbent de l'oxygène, exhalent de l'acide carbonique et transforment plus ou moins parfaitement le sang artériel en sang veineux. Ce double courant se peut voir, pour ainsi dire, quand on examine au microscope les branchies plongées dans l'eau. Il s'établit, à leur contact, dans le milieu liquide une sorte de mouvement circulaire : les corpuscules flottants dans l'eau semblent être attirés d'un côté et repoussés de l'autre (1).

(1) Dugès, *loc. cit.*, t. II, p. 522.

Nous n'avons point ici à décrire en détail l'appareil pulmonaire des vertébrés supérieurs. Disons seulement que plus l'animal est parfait, plus la poche pulmonaire se divise et se subdivise, en lobes, lobules, culs-de-sac terminaux ou cellules, en nombre toujours croissant (fig. 51), d'où, chez les mammifères supérieurs, une surface respiratoire énorme (fig. 49 et 52). En même temps que le sac pulmonaire se perfectionne, il se sépare de plus en plus du tube digestif; il acquiert des canaux aériens de plus en plus longs et ramifiés, maintenus constamment ouverts

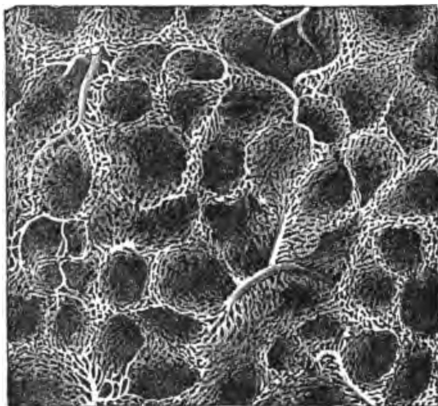


Fig. 49.
Réseau capillaire des vésicules pulmonaires.

par un squelette cartilagineux et supportant en un ou plusieurs points de leur trajet les organes de la voix (fig. 50). Sur toute sa surface, l'arbre aérien, trachée et bronches, est tapissé d'épithélium vibratile; et cela arrive pour presque toutes les surfaces respiratoires dans tout le règne animal. Le revêtement vibratile fait défaut seulement à la surface des cellules ou alvéoles pulmonaires.

Des muscles plus ou moins nombreux impriment à la

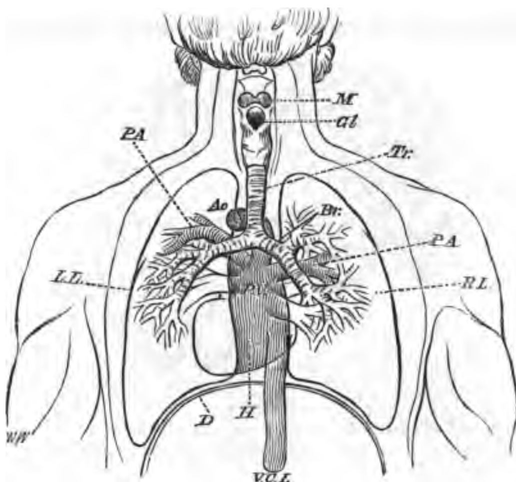


Fig. 50.

Vue postérieure du cou et du thorax d'un homme à qui on aurait enlevé la colonne vertébrale et la paroi thoracique postérieure : M, bouche ; G*l*, glotte ; T*r*, trachée ; LL, poumon gauche ; RL, poumon droit ; B*r*, bronches ; PA, artère pulmonaire ; PV, veines pulmonaires ; A*o*, aorte ; D, diaphragme ; H, cœur ; VCI, veine cave inférieure.

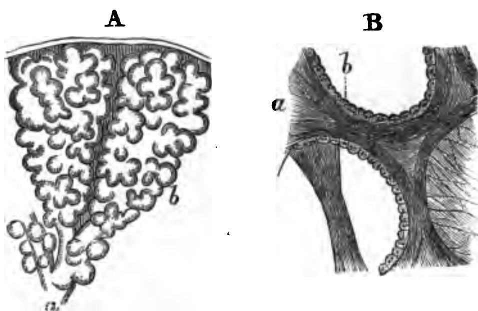


Fig. 51.

Deux cellules aériennes (*b*) munies du tube bronchique (*a*), qui s'ouvre dans leur intérieur. Grossissement de 20 diamètres.

Section au milieu des parois (*a*) de plusieurs cellules aériennes munies de leur épithélium (*b*).

cage costale, qui recouvre les poumons et les maintient

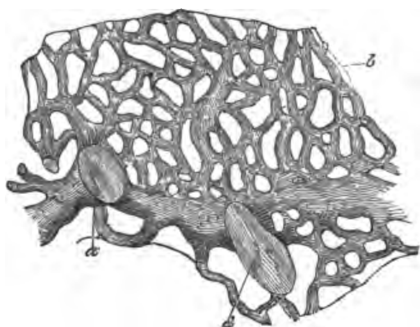


Fig. 52.

Capillaires d'une partie des parois d'une cellule aérienne : *a*, extrémités coupées des petites veines et artères ; *b*, parois des cellules aériennes. 300 diamètres.

dilatés (fig. 53), des mouvements alternatifs d'inspiration et d'expiration; mais la cloison diaphragmatique, dont les

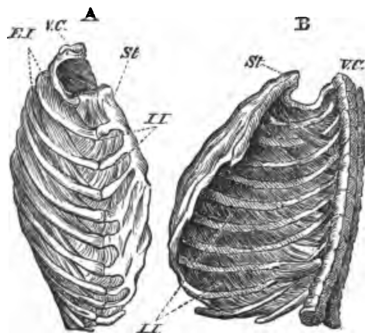


Fig. 53.

A, EI, muscles intercostaux externes ; B, II, muscles intercostaux internes. En B la poitrine est supposée avoir été divisée verticalement par le milieu du sternum (S*t*) et de l'épine vertébrale.

contractions aident tellement à l'inspiration chez l'homme et les mammifères (fig. 54), manque encore complétement

chez les reptiles, et n'est qu'à l'état fort rudimentaire chez les oiseaux.

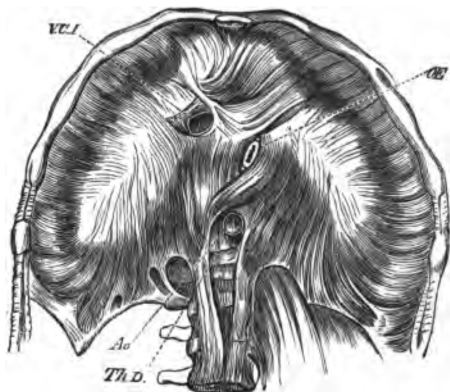


Fig. 54.

Le diaphragme vu par sa face inférieure ou abdominale : VCI, veine cave inférieure ; OE, œsophage ; A*o*, aorte ; T*h*D, canal thoracique coupé là où il passe à travers le diaphragme.

Force nous est bien, sous peine de hors-d'œuvre, de renoncer à toute description anatomique détaillée ; mais nous devrons nous étendre un peu plus longuement sur le rôle physiologique de la respiration, sur l'aide indispensable qu'elle apporte au jeu de la nutrition chez les animaux complexes.

CHAPITRE XVI.

DU RÔLE PHYSIOLOGIQUE DE LA RESPIRATION.

Il faut distinguer entre le fait biologique fondamental de l'absorption de l'oxygène, qui est une des conditions premières de la nutrition, et la fonction respiratoire proprement dite, qui est simplement le procédé physiologique employé pour rendre possible ou facile cette absorption. L'absorption d'oxygène est un fait général; tout être organisé absorbe de l'oxygène sous peine de mort; cela est vrai pour les organismes végétaux et animaux les plus humbles aussi bien que pour les plus élevés. Cela est vrai pour tout être vivant à toutes les périodes de son existence. William Edwards et Colin (1) ont constaté que les graines ne germaient pas dans le vide, et il a suffi à Réaumur de couvrir la coquille d'un œuf d'un vernis impénétrable, pour empêcher l'embryon de se développer (2). Mais la respiration proprement dite n'existe véritablement que dans les cas où un appareil spécial, branchial, trachéen ou pulmonaire, est chargé de fournir de l'air respirable à l'organisme tout entier, et d'exhaler les gaz nuisibles ou inutiles au maintien de la vie.

Quelle que soit la diversité des procédés organologiques, le but de tout appareil respiratoire est de mettre en contact aussi facile que possible avec l'atmosphère des vaisseaux capillaires contenant un sang plus ou moins vicié par la nutrition. Si l'on voulait parler le langage des anciens naturalistes philosophes, qui attribuaient à la

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1838.
(2) *Ibid.*, année 1735.

Nature des intentions, il faudrait dire que c'est là l'idée de la respiration.

Les conditions les plus faciles de l'échange des gaz étant le mieux réalisées chez les mammifères supérieurs, nous pouvons prendre comme type la respiration chez l'homme, la seule, d'ailleurs, qui ait encore été étudiée bien à fond. Il nous sera, du reste, facile, au cours de cette exposition, d'indiquer les analogies ou les différences observées dans le reste du règne animal.

Le vaisseau capillaire est, par excellence, le siége et l'agent des échanges matériels dans l'organisme animal. Où qu'il soit, il se prête facilement aux phénomènes osmotiques. Dans la trame des tissus, quand la paroi capillaire sépare des liquides, ce sont ces liquides qui se mélangent à travers la mince membrane intermédiaire. Dans les poumons de l'homme, la paroi des capillaires sépare le liquide sanguin, tenant des gaz en dissolution, de l'atmosphère extérieure, et l'échange se fait entre les gaz.

Dans les capillaires des poumons (fig. 49 et 52), comme dans ceux des tissus, les courants électro-moteurs jouent un rôle mécanique important. Mais, tandis que, dans les tissus, ils activent l'expulsion de l'oxygène à travers la paroi des capillaires, dans les poumons ils font précisément le contraire. En effet, dans le poumon, l'oxygène est situé hors de la circulation; par suite, le sens du circuit électrique est inverse; le courant électro-moteur capillaire tend donc à activer l'expulsion de l'acide carbonique (1).

En dépit du jeu de soufflet des poumons des vertébrés, et surtout des mammifères, quoiqu'il y ait constamment et régulièrement entrée et sortie alternatives de gaz dans la cavité pulmonaire, la respiration, l'échange gazeux à travers

(1) Becquerel, *loc. cit.*, et *Des forces physico-chimiques*, in-8°. Paris, 1875. — Onimus, *Des phénomènes électro-capillaires* (*Revue scientifique*, 1870, n° 42).

la paroi capillaire n'en est pas moins un phénomène continu, ininterrompu. En effet, à chaque expiration, les poumons n'expulsent qu'une assez faible portion de leur contenu gazeux. Cette portion doit être évaluée à un cinquième, à un septième ou même à un huitième de la capacité pulmonaire, si l'on s'en rapporte aux calculs de Menzies, Goodwin, Davy, etc. Le volume absolu du contenu gazeux varie, comme la capacité pulmonaire, très-notablement, suivant les individus et les âges. Hutchinson a donné les moyennes suivantes de cette capacité (1) :

De 15 à 25 ans	3lit,590
25 à 30 —	3 ,623
35 à 40 —	3 ,720
40 à 45 —	3 ,459
45 à 50 —	3 ,459
50 à 55 —	3 ,215
55 à 60 —	2 ,970

Chez un Américain gigantesque et athlétique, la capacité pulmonaire s'élevait à 7l,082.

La capacité pulmonaire est donc en relation très-sensiblement constante avec la jeunesse et la force, ou plus généralement avec le degré de vitalité. L'Américain d'Hutchinson en est un frappant exemple. Après deux ans d'une vie oisive et dissolue, son énorme capacité pulmonaire tomba d'abord à 6l,364, puis à 5l,222, et enfin, un an plus tard, il succomba à une maladie tuberculeuse.

Le volume moyen du gaz introduit à chaque inspiration peut s'évaluer à un tiers de litre environ, soit 9 à 10 mètres cubes par vingt-quatre heures. Quant au volume expiré, il se rapproche naturellement beaucoup du volume inspiré, sauf pourtant une légère diminution d'un cinquantième à un soixante et dixième ; car il y a d'autres voies d'expulsion.

(1) Hutchinson, *On the spirometer*, 1846 (analysé dans *Arch. gén. de méd.*, 1847).

Evidemment les gaz pulmonaires, expulsés à chaque inspiration, sont surtout ceux qui sont le plus voisins du dehors, ceux qui remplissent la trachée et les grosses bronches. Quant à l'air inclus dans les cellules pulmonaires et dans les fins rameaux bronchiques, il se renouvelle surtout par diffusion, par mélange gazeux de proche en proche, de sorte qu'en définitive la surface respirante, la paroi vasculaire des cellules pulmonaires, est en contact avec un mélange gazeux dont la composition est toujours sensiblement la même. L'échange gazeux peut donc s'effectuer régulièrement, sans interruption, même sans variation brusque.

Les poumons reçoivent l'air extérieur, c'est-à-dire un mélange gazeux d'environ 21 d'oxygène et 79 d'azote, plus une faible quantité de vapeur d'eau et environ quatre dix-millièmes d'acide carbonique. Ils restituent à l'atmosphère un air très-notablement appauvri en oxygène, puisqu'il n'en contient plus guère que 18 pour 100 (Dugès), mais en revanche chargé d'acide carbonique et de vapeur d'eau.

De nombreuses observations, parmi lesquelles il faut citer en première ligne celles de Lavoisier d'abord, puis celles de Regnault et Reiset (1), il résulte que la quantité d'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé par les poumons est sensiblement inférieure à la quantité d'oxygène atmosphérique absorbé. Lavoisier avait déjà noté ce fait intéressant. MM. Regnault et Reiset ont vu que ce rapport variait fort peu dans une même espèce animale, vivant dans des conditions normales. Le rapport entre l'oxygène de l'acide carbonique exhalé et l'oxygène absorbé a été dans leurs observations de 0,743 à 0,750 pour le chien, de 0,920 chez le lapin, etc. C'est que l'oxygène

(1) *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. XXVI.

atmosphérique doit être considéré comme un véritable aliment; il se combine avec les plasmas, avec la matière des éléments anatomiques, en un mot avec la substance vivante; il entre dans des composés nombreux et est éliminé par des voies diverses. L'organisme ne prend à l'atmosphère que la quantité d'oxygène qui lui est nécessaire; il se rationne lui-même. Dans une atmosphère contenant 40 et même 60 pour 100 d'oxygène, l'absorption de ce gaz n'est pas sensiblement plus considérable que dans l'air commun, à moins de variation dans le régime. Dans ce dernier cas, au contraire, la quantité d'oxygène absorbé varie; car il en faut plus ou moins, suivant que la proportion et la nature des substances à assimiler varient dans le liquide sanguin. Ainsi le déficit dans la quantité d'oxygène rendue à l'air par l'exhalation d'acide carbonique est plus grand chez les carnivores que chez les herbivores. Si les animaux se nourrissent de grains, la relation est quelquefois inverse; il y a alors excès dans l'oxygène exhalé.

L'échange des gaz, à travers la membrane pulmonaire, est bien plus un phénomène physique qu'un phénomène physiologique; l'azote doit donc aussi pénétrer dans le sang à travers la paroi des capillaires; c'est en effet ce qui arrive. Mais ici, contrairement à ce qui a lieu pour l'oxygène, l'exhalation pulmonaire restitue à l'air plus d'azote qu'elle ne lui en a emprunté, du moins dans le plus grand nombre des cas.

Regnault et Reiset ont trouvé que tous les animaux soumis à leur régime habituel dégageaient toujours un excédant d'azote. Despretz a constaté la même chose dans plus de deux cents expériences (1). Boussingault, en procédant par la méthode indirecte, c'est-à-dire en comparant

(1) *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. XXVI.

la quantité d'azote introduite par les aliments à la quantité expulsée dans les matières solides et liquides, a vu que la première était toujours supérieure à la seconde (1). On peut donc inférer de là qu'une certaine portion de l'azote des aliments est exhalée par les poumons. En effet, si l'on fait respirer un animal dans une atmosphère composée de 79 parties d'hydrogène et de 21 parties d'oxygène, on voit qu'il y a simultanément absorption d'hydrogène et exhalation d'azote. Dans ce cas, la provenance de l'azote doit évidemment être rapportée à l'organisme. En outre, l'absorption d'hydrogène change en certitude la très-grande probabilité de l'absorption de l'azote dans l'air normal. Il faut donc admettre avec Edwards que, dans l'atmosphère ordinaire, le dégagement et l'emprunt d'azote par la surface pulmonaire ont toujours lieu simultanément, et que l'augmentation ou la diminution dans la quantité d'azote exhalé mesure seulement une différence.

C'est qu'en effet la quantité d'azote exhalé varie ; il y a tantôt excédant, tantôt déficit. Ainsi il y a rétention d'azote dans l'organisme durant l'inanition et même plusieurs jours après sa cessation. Il en est de même quand l'animal observé est souffrant, peut-être parce qu'alors il se soumet spontanément à une inanition relative.

La membrane pulmonaire, offrant au contact de l'air une large surface à une température assez élevée, est naturellement le siége d'une transpiration, d'une évaporation aqueuse abondante. Lavoisier et Seguin, qu'il faut toujours citer quand il s'agit de la respiration, avaient évalué à 7g,90 par heure, soit à 569 grammes environ, la quantité d'eau exhalée en vingt-quatre heures par la surface pulmonaire chez l'homme (2). La moyenne des nom-

(1) *Économie rurale*, t. II.

(2) *Premier mémoire sur la transpiration* (*Mémoires de l'Académie des sciences de Paris* (1790), et *Annales de chimie*, t. XC).

breuses expériences de Valentin (1) est de 540 grammes, très-voisine, par conséquent, du nombre indiqué par Lavoisier et Seguin. Cette quantité est d'ailleurs très-variable. On l'augmente à volonté chez les animaux, par exemple en leur injectant de l'eau dans les veines.

Il s'opère dans le sang des réactions complexes, aussi peu connues encore que celles d'où résulte chez les végétaux la séve élaborée. Le grand fait est bien la fixation d'oxygène; mais nous avons vu qu'il y avait aussi absorption et exhalation d'azote. Lavoisier et Seguin avaient déjà déduit de leurs observations qu'une portion de l'eau exhalée par la surface pulmonaire s'était directement formée dans le sang par l'oxydation de l'hydrogène. Les observations modernes n'ont fait que confirmer cette vue, qu'il faut vraisemblablement étendre à l'excrétion aqueuse sous toutes ses formes; car le poumon n'est qu'une des voies nombreuses par lesquelles l'eau sort des organismes animaux.

Les études les plus complètes, touchant les phénomènes physiques de la respiration, ont été faites surtout sur des animaux pulmonés, oiseaux et mammifères; mais ces phénomènes, envisagés d'une manière générale, diffèrent peu dans la respiration branchiale. A la surface des branchies, comme à la surface des poumons, il y a échange continuel de gaz entre le liquide sanguin et le milieu aquatique. La quantité d'air dissous dans l'eau n'est pas très-considérable; mais cet air est respiré par des animaux à sang froid, et il est d'ailleurs beaucoup plus riche en oxygène que l'air atmosphérique. En effet, l'air dissous dans l'eau se compose de 29,8 d'oxygène, 66,2 d'azote et 4 d'acide carbonique. Or Humboldt et Provençal ont vu cet air contenir seulement 2,3 d'oxygène, 63,9 d'azote, et en revanche 33,8 d'acide carbonique, après avoir servi un

(1) *Lehrbuch der Physiologie*, t. I.

certain temps à la respiration de quelques poissons (1).

Si l'observation a pu scruter et mesurer les phénomènes respiratoires proprement dits, c'est-à-dire l'échange des gaz à travers la membrane capillaire, elle a réussi beaucoup moins bien en ce qui concerne la partie nutritive de la respiration. Néanmoins des faits intéressants ont pu être recueillis et ils permettent déjà de se faire une idée générale du rôle, que remplit l'oxygène absorbé, et de la série des transformations chimiques, auxquelles il coopère.

Le phénomène premier, le plus apparent, est le subit changement de coloration, que subit le liquide sanguin aussitôt après l'absorption de l'oxygène atmosphérique. Le sang, qui était arrivé dans les capillaires à l'état de sang noir ou veineux, devient rutilant et vermeil, aussitôt qu'il a troqué son acide carbonique contre de l'oxygène ; il est dit alors sang rouge ou artériel. Le changement de coloration est instantané. Par exemple, le sang de l'artère carotide d'un animal noircit et rougit alternativement et subitement, suivant qu'on empêche ou qu'on laisse libre l'accès de l'air dans les voies respiratoires.

De l'oxygène absorbé par le sang une partie reste à l'état de dissolution dans le plasma sanguin et vraisemblablement concourt à des oxydations, à des transformations isomériques des nutriments ; mais la plus grande partie de cet oxygène est fixée par les hématies. Ces corpuscules en absorbent plusieurs volumes ; ce sont vraiment les véhicules de l'oxygène. Ils s'en imprègnent et le charrient jusqu'aux vaisseaux capillaires de fin calibre, qui pénètrent dans la trame même des tissus. Mais cette partie du système circulatoire est le champ spécial des échanges nutritifs. Là, en effet, le sang n'est plus séparé des élé-

(1) *Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. II.

ments anatomiques et des liquides, qui les baignent, que par la mince paroi homogène des capillaires. Le sang cède alors aux tissus des matériaux assimilables, il reprend des matériaux désassimilés. Dans la première catégorie est compris l'oxygène; dans la seconde, l'acide carbonique. Sans l'incessant abord du premier, sans l'incessante expulsion du second, la série des réactions et transformations chimiques, dont l'ensemble constitue la nutrition, cesse de s'effectuer; tout le mouvement vital est enrayé et s'arrête.

L'oxygène n'est pas simplement dissous dans la substance du globule sanguin; il semble être combiné à cette substance. En effet, si l'on injecte dans les veines d'un chien une substance avide d'oxygène, comme, par exemple, l'acide pyrogallique, l'animal ne paraît pas s'en apercevoir; ses globules n'abandonnent pas leur provision d'oxygène (1). Au contraire, certaines substances, qui peuvent céder de l'oxygène, en sont dépouillées dans le sang; les globules le leur enlèvent. Ainsi du peroxyde de fer injecté dans la circulation se retrouve dans l'urine à l'état de protoxyde. Les globules peuvent être considérés comme des condensateurs d'oxygène; ils sont par excellence les agents excitants de la vie, aussi, dans l'opération de la transfusion, suffit-il d'injecter, dans les veines, du sang défibriné; vraisemblablement, les globules seuls suffiraient. Certaines substances ont la propriété de tuer les globules, de les rendre à jamais inaptes à l'absorption de l'oxygène. Tel est particulièrement l'oxyde de carbone; mais même dans les cas d'empoisonnement par cette substance, on réussit souvent à faire revivre les animaux empoisonnés, à les ressusciter, en recourant à la transfusion, c'est-à-dire en remplaçant les globules morts par des globules vivants.

(2) Cl. Bernard, *Leçons sur les liquides de l'organisme.*

Les matières nutrimentaires préparées par le travail de la digestion et versées dans la circulation sont échangées à travers la paroi des capillaires contre les produits de la dénutrition. Ces derniers sont le résultat d'une oxydation, dont le siége principal est vraisemblablement dans la substance même des éléments anatomiques et point dans les capillaires eux-mêmes, comme on l'affirme encore dans nombre de traités spéciaux. Les capillaires sont des organes merveilleusement appropriés aux échanges nutritifs entre le sang et les éléments anatomiques; mais ces derniers sont le laboratoire même, où s'accomplissent les transformations principales. La comparaison des deux sangs permet d'établir, dans une certaine mesure, le bilan de l'acquêt et de la dépense. Après avoir servi à la nutrition, les matières ternaires non azotées sont ramenées à l'état d'acide carbonique et d'eau; leur combustion est donc complète. Elles ont atteint leur maximum d'oxydation. Au contraire, les substances quaternaires ou albuminoïdes ne subissent qu'une combustion incomplète, dont le résultat est une certaine quantité d'acide carbonique et d'eau, plus un résidu de composés quaternaires cristallisables, dont nous avons déjà parlé, et qui sont éliminés par les divers émonctoires de l'économie.

De la comparaison des deux sangs ressort encore un fait intéressant, c'est que le sang artériel a une composition sensiblement identique dans les diverses régions de l'organisme, tandis que la composition du sang veineux varie beaucoup suivant les diverses localités organiques. En effet, le sang artériel est le réservoir nutritif général; chaque élément anatomique y puise suivant ses besoins; mais ces besoins sont divers suivant la constitution chimique, suivant la fonction de l'élément. Chaque élément anatomique prend donc, selon ses affinités, plutôt telle substance que telle autre. En outre, et surtout, il fait su-

bir aux matières qu'il absorbe une élaboration spéciale et restitue à la circulation un résidu nutritif spécial aussi ; d'où résulte nécessairement la diversité locale du sang veineux.

En moyenne, la respiration ou du moins le fait primordial de la respiration consisterait, d'après Regnault et Reiset en une absorption d'oxygène, variant de 10 grammes à 0g,09 par heure et par kilogramme de matière vivante. En outre, cet oxygène se transformerait en acide carbonique et en eau dans la proportion de 0g,800 combinés avec le carbone et de 0g,200 combinés avec l'hydrogène. Enfin, il y aurait une exhalation d'azote représentant environ les six millièmes du poids de l'oxygène consommé. Ces chiffres bruts doivent être acceptés avec une grande réserve. La combustion respiratoire ne produit pas seulement de l'eau et de l'acide carbonique. Ces deux derniers corps résultent seulement de la combustion des substances ternaires ; mais les substances quaternaires s'oxydent aussi et leur oxydation donne naissance à des composés azotés cristallisables éliminés par d'autres voies que la surface pulmonaire.

Quoi qu'il en soit, il ressort des observations de Regnault et de Reiset, corroborées d'ailleurs par celles de beaucoup d'autres, un fait général important : c'est que l'énergie de la combustion vitale est en rapport étroit avec l'intensité du mouvement nutritif et fonctionnel.

Ainsi les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique et d'azote exhalés sont environ sept fois plus grandes chez les oiseaux que chez les mammifères. En revanche, l'intensité respiratoire, évaluée d'après les mêmes données, est à peu près dix fois plus forte chez les mammifères que chez les reptiles (Regnault et Reiset).

La respiration des insectes, alors que ces animaux sont en pleine activité, a sensiblement la même énergie que

celle des mammifères, tandis que les lombrics terrestres ne respirent pas plus que les reptiles; mais il faut dans ces comparaisons faire entrer en ligne de compte la taille de l'animal. En effet, plus un animal est petit, plus la surface de son corps est grande relativement à sa masse, par suite l'oxydation, qui, comme nous le verrons, est la principale source de la chaleur animale, doit être plus active, puisque le refroidissement par rayonnement périphérique est plus fort.

Andral et Gavarret ont fait sur la respiration chez l'homme une série de très-bonnes observations (1). Ces observations portent sur l'homme âgé de seize à trente ans, observé pendant huit à treize minutes, entre une heure et deux heures de la journée, à un même intervalle des repas et dans les mêmes conditions de travail musculaire. D'après eux, la consommation de carbone en une heure subit, suivant les âges, les variations indiquées dans le tableau suivant :

De 8 à 15 ans, elle est de	7,42
15 à 20 —	10,76
20 à 30 —	12
30 à 40 —	11
40 à 50 —	9,17
50 à 60 —	11,07
60 à 70 —	10,25
Chez un vieillard de 76 ans, elle est de	6
— de 92 —	8,5
— de 102 —	5,9

Andral et Gavarret n'ayant pas noté le poids des sujets observés, les chiffres ci-dessus cités perdent beaucoup de leur valeur, néanmoins on y trouve la confirmation de la loi générale, que nous avons énoncée plus haut, savoir :

(1) *Recherches sur la quantité d'acide carbonique exhalé par le poumon* (*Ann. de chim. et de phys.*, 2e série, 1843).

que l'activité respiratoire varie proportionnellement à l'intensité du mouvement nutritif, c'est-à-dire de la vie.

Les observations de Scharling contrôlent celles d'Andral et Gavarret ; car on y trouve l'indication du poids des sujets. Or, ces observations établissent que l'oxydation est plus énergique chez l'enfant que chez l'adulte. Un enfant de neuf ans a consommé par kilogramme et par heure 0g,25 de carbone ; des adultes de vingt-huit à vingt-cinq ans n'en consommaient en moyenne que 0g,12.

Suivant Scharling encore, la différence des sexes influe sur l'énergie de la combustion vitale, même avant la puberté ; dans l'espèce humaine, les filles consomment moins d'oxygène que les garçons. Mais Andral et Gavarret ont de plus constaté que l'écart s'accentue encore à la période moyenne de la vie. Pendant toute la période d'ovulation, depuis la première apparition des règles jusqu'à leur disparition, l'exhalation d'acide carbonique est moindre chez la femme que chez l'homme ; mais l'égalité se rétablit sensiblement durant la grossesse et après l'âge critique.

Bien d'autres causes font varier l'exhalation d'acide carbonique. Ainsi elle augmente chez les animaux à température fixe ou à sang chaud, à mesure que décroît la température extérieure. Au contraire, chez les animaux à sang froid, la combustion respiratoire diminue, à mesure que la température s'abaisse. C'est que les premiers résistent au refroidissement par une combustion plus active, tandis que les seconds, étant incapables de produire une chaleur interne suffisante, se refroidissent peu à peu, jusqu'au moment où ils tombent en état de sommeil hibernal ou bien meurent.

Toute activité fonctionnelle, quelle qu'elle soit, a pour corollaire ou plutôt pour cause une combustion plus ac-

tive au sein de l'organe ou de l'appareil qui fonctionne.

Après avoir mangé copieusement, les insectes respirent plus énergiquement, aussi meurent-ils alors plus promptement dans un air confiné ou dans un milieu gazeux irrespirable.

On a observé qu'il y avait proportion entre l'activité digestive des grenouilles et la quantité d'oxygène contenue dans le milieu ambiant.

D'après Vierordt, Valentin, Scharling, Horn, l'exhalation d'acide carbonique augmente rapidement chez l'homme après le repas. Des faits analogues ont été constatés par Spallanzani chez les colimaçons à jeun, par Story sur divers insectes, par Boussingault sur des tourterelles.

Dans l'inanition, il y a une moindre absorption d'oxygène, et une exhalation d'acide carbonique moindre encore. L'animal prend à l'atmosphère plus d'oxygène qu'il ne lui en restitue. Cela tient simplement à ce qu'alors il se nourrit aux dépens de ses propres tissus; il se mange lui-même et par conséquent respire comme un carnivore, mais un carnivore mal nourri. En effet, Regnault et Reiset ont vu que les animaux, se nourrissant de viandes et d'aliments riches en matières grasses, exhalaient moins d'acide carbonique et, par conséquent, brûlaient plus d'hydrogène.

Moins l'animal inanitié fonctionne, moins il dépense de carbone. C'est pourquoi Ridder et Schmidt ont vu le chiffre de l'exhalation carbonique diurne chez les animaux inanitiés tendre à égaler celui de l'exhalation nocturne, alors que l'on privait les animaux de la vue.

Moleschott a constaté de son côté que l'action de la lumière sur la peau augmentait notablement l'intensité des phénomènes respiratoires (1).

(2) *Wiener medicinische Wochenschrift*, 1855.

Pendant le jour, sous l'influence des divers modes d'activité, la production d'acide carbonique est, suivant Scharling, d'un quart plus considérable qu'elle ne l'est durant le sommeil nocturne. Mais, c'est surtout durant le sommeil hibernal, que l'absorption d'oxygène est réduite à son minimum. Regnault et Reiset l'ont vue tomber alors au vingtième de l'état de veille.

La contraction, l'effort musculaire, exigent une forte absorption d'oxygène, comme Lavoisier et Seguin l'avaient déjà observé. C'est que, pour un poids donné de matière vivante, la combustion respiratoire croît en raison directe de l'activité musculaire.

Derrière tout acte biologique il y a une oxydation des éléments anatomiques. Aucun organe n'échappe à cette loi et les centres nerveux y sont soumis comme les autres appareils organiques. Toute pensée, toute volition, toute sensation correspondent à une oxydation de substance vivante aussi bien que toute sécrétion, tout mouvement, etc.

En parlant de l'innervation, nous aurons à envisager sous ce rapport le fonctionnement cérébral. Lavoisier, après avoir signalé la relation qui existe entre l'activité musculaire et l'exhalation d'acide carbonique, écrivait déjà : « Ce genre d'observations conduit à comparer des emplois de force, entre lesquels il semblerait n'exister aucun rapport. On peut connaître, par exemple, à combien de livres en poids répondent les efforts d'un homme, qui récite un discours, d'un musicien qui joue d'un instrument. On pourrait même évaluer ce qu'il y a de mécanique dans le travail du philosophe qui réfléchit, de l'homme de lettres qui écrit, du musicien qui compose. Ces effets, considérés comme purement moraux, ont quelque chose de physique et de matériel, qui permet sous ce rapport de les comparer avec les efforts que fait l'homme de peine. Ce n'est donc pas sans quelque justesse que la

langue française a confondu sous la dénomination commune de *travail* les efforts de l'esprit comme ceux du corps, le travail du cabinet et le travail du mercenaire » (1).

Il est vraiment singulier et regrettable que, de nos jours encore, et malgré l'éclatant triomphe de la doctrine de la corrélation des forces physiques, aucun physiologiste n'ait fait passer dans le domaine des faits rigoureusement et minutieusement observés, cette belle idée de Lavoisier. Les derniers champions du vitalisme et de l'animisme répètent toujours que la pensée échappe à la loi de corrélation des forces physiques, qu'on ne peut en déterminer l'équivalent mécanique. Or, il est incontestable que tout fonctionnement cérébral répond à une absorption d'oxygène, laquelle se traduit par une exhalation plus grande d'acide carbonique et par l'excrétion rénale de certains produits de l'oxydation. Il serait sûrement possible d'évaluer approximativement en calories et, par conséquent, en kilogrammètres, ce travail d'oxydation. On déterminerait ainsi l'équivalent mécanique de la pensée et même des différents modes de la pensée.

Chez les vertébrés à poumons, les mouvements de l'appareil ventilateur des poumons, de la cage thoracique, s'exécutent le plus souvent automatiquement, mais ils sont, bien plus que les mouvements du cœur, soumis à la volonté, qui peut les accélérer, les ralentir ou les suspendre; il est donc assez naturel que certaines lésions des centres nerveux retentissent immédiatement, non pas directement sur l'échange des gaz à la surface pulmonaire, mais sur les mouvements alternatifs de la cage thoracique. En effet, certaines blessures de la moelle épinière, chez les lapins et les cochons d'Inde, déterminent un ralentissement de

(1) Lavoisier, *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789.

la respiration et un refroidissement graduel, en résumé un état très-analogue à l'hibernation. Chez les mammifères, il est une région très-limitée située à l'origine de la moelle épinière dans le bulbe rachidien, au niveau du V de substance grise compris dans l'angle postérieur du quatrième ventricule; or, l'intégrité de cette région est tellement nécessaire à l'accomplissement des mouvements respiratoires, qu'une section pratiquée en ce point abolit du même coup la respiration et la vie. Ce point fameux de la moelle épinière a été appelé *nœud vital.* Galien l'avait déjà signalé ; mais c'est seulement de nos jours et grâce aux expériences précises de Flourens, que sa position a été bien déterminée.

Chez les reptiles, la section du nœud vital a un effet bien moins foudroyant que chez les mammifères; elle abolit bien à jamais les mouvements respiratoires, mais ne tue pas immédiatement l'animal, résultat bien facile à comprendre et qui tient à la moindre centralisation, à la moindre énergie de l'appareil respiratoire. La peau vient ici en aide aux poumons dans une large mesure, aussi les batraciens sont de tous les reptiles ceux qui supportent le plus longtemps la section du nœud vital. Cette section, d'ailleurs, n'abolit pas seulement les mouvements respiratoires, mais bien l'ensemble de tous les mouvements volontaires du tronc, des membres et de la tête, puisqu'elle interrompt la plupart des communications senties et volontaires entre le cerveau et la presque totalité des autres organes.

Notre but n'étant pas d'écrire un traité de physiologie spéciale, mais bien de donner seulement une idée générale des procédés par lesquels s'accomplit la nutrition dans le règne animal, nous terminerons ici cette brève, mais suffisante description de la respiration. Nous avons vu maintenant comment l'organisme animal élabore et

absorbe les matériaux qu'il emprunte au monde extérieur, comment ces matériaux devenus assimilables circulent dans tous les points de la machine animale, comment est absorbé l'oxygène atmosphérique, indispensable à l'accomplissement des phénomènes primaires de la nutrition. Il nous reste actuellement à examiner comment les organismes se débarrassent des produits non gazeux de la désassimilation; comment aussi ils fabriquent, aux dépens des plasmas, certaines substances destinées à jouer ensuite dans diverses fonctions un rôle plus ou moins important. Il nous faut donc parler de l'excrétion et de la sécrétion.

CHAPITRE XVII.

DE LA SÉCRÉTION ET DE L'EXCRÉTION EN GÉNÉRAL.

Tout élément organisé et vivant assimile et désassimile incessamment. Mais à mesure que l'organisme se complique et se différencie, les conditions de l'assimilation deviennent plus difficiles, et cette fonction a besoin pour s'effectuer des appareils auxiliaires, digestifs, circulatoires et respiratoires que nous avons passés en revue. En outre, l'assimilation serait impossible, si les principes immédiats usés n'étaient expulsés au fur et à mesure de leur production. En résumé, la désassimilation est le corollaire indispensable de l'assimilation et, comme cette dernière, elle a besoin d'appareils spéciaux, partout où la structure de l'organisme est trop complexe. Ces appareils spéciaux sont les glandes, dont nous aurons tout à l'heure à donner une description générale. Néanmoins, à côté des organes spéciaux d'expulsion, la propriété élémentaire de simple exhalation persiste encore. L'exemple le plus tranché de ce mode primitif d'élimination est certainement l'exhalation gazeuse et aqueuse, qui s'effectue si largement à travers le poumon.

Mais à côté des glandes servant à l'expulsion simple, il en est d'autres, dont le rôle particulier consiste à former aux dépens des liquides nutritifs des substances spéciales, destinées elles-mêmes à jouer un rôle dans l'accomplissement d'une des grandes fonctions de l'organisme vivant. Les glandes du premier type sont dites glandes *d'excrétion;* les autres, glandes *de sécrétion*. On peut donner comme exemple des premières les glandes, qui excrètent l'urine et la sueur, c'est-à-dire les reins et les

glandes sudoripares. Les glandes salivaires et le foie représentent bien les glandes du second type.

Plus un être organisé est perfectionné, plus ses organes d'excrétion et de sécrétion sont nombreux et spécialisés. De cette proposition générale, applicable d'ailleurs à tous les appareils organiques, on peut inférer que les organes d'élimination seront très-rudimentaires dans le règne végétal. Là manquent complétement les organes glandulaires complexes, munis de canaux de décharge, comme il en existe chez les animaux. On pourrait plutôt rapprocher les glandes végétales des glandes closes ou sans conduit excréteur des animaux. De part et d'autre, en effet, l'organe sécréteur est représenté par des cellules élaborant aux dépens des liquides nutritifs des substances spéciales, qui sortent des cellules, soit par exosmose, soit par rupture des cellules qui les ont formées, mais ne sont point alors reçues dans des conduits particuliers; car le réseau dit *de sécrétion* dans lequel s'épanche l'huile essentielle de l'*helianthus*, la gomme-résine de certaines ombellifères, le baume limpide des conifères et des térébinthacées, est seulement composé de méats plus ou moins ramifiés dus à de simples écartements de cellules.

Les cellules sécrétantes des végétaux sont tantôt isolées et tantôt groupées. Comme exemple des premières, on peut citer la cellule sphérique, remplie d'une substance visqueuse ou odorante, qui termine certains poils végétaux. D'autres cellules glandulaires, isolées, sont dispersées dans le parenchyme des tissus, par exemple les cellules à camphre des feuilles du *camphora officinarum*. Souvent les cellules glandulaires sont groupées en petits amas, par exemple, celle qui renferme l'huile essentielle odoriférante dans l'écorce du citron. Parfois les parois de ces cellules s'ouvrent ou se résorbent et la place qu'elles occupaient se transforme en réservoir. Mais ce sont là des

sécrétions spéciales. Quant à la forme sous laquelle sont éliminés les produits de déssasimilation de la plante, elle est encore bien peu connue. Faut-il regarder comme produits d'excrétion les matières résineuses, cireuses, glaireuses, etc., parfois, qui s'étalent à la surface de certains végétaux? mais on ne les rencontre pas chez toutes les plantes; toutes les plantes pourtant doivent excréter. Faut-il admettre, avec quelques botanistes, que les produits de la désassimilation sontcharriés avec la séve descendante et expulsés par les racines mêmes? Mais tout cela est bien peu vraisemblable. En réalité les végétaux se débarrassent mal et imparfaitement de leurs produits déssassimilés. L'eau est bien exhalée à la surface des feuilles et de la tige; certaines substances semi-fluides sont aussi expulsées par simple exosmose; mais des résidus considérables, notamment une grande quantité de substances minérales, restent dans les tissus végétaux, les encombrent et déterminent la mort des éléments anatomiques qui les contiennent. C'est là très-vraisemblablement la raison de la mort et de la chute des feuilles, de la fonte et de la disparition de dedans en dehors des éléments ligneux au centre des arbres dicotylédonés. Aussi le détritus noirâtre, cadavérique, qui baigne souvent la paroi interne des troncs d'arbres creux, contient-il des produits de décomposition, de l'ulmine et ses dérivés.

C'est dans le règne animal seulement, que l'on trouve des organes de sécrétion et d'excrétion nombreux et perfectionnés. Ici la vie est plus intense et des agents organiques spéciaux sont nécessaires pour régulariser l'expulsion des produits désassimilés et former des humeurs ou des substances indispensables à l'accomplissement d'actes physiologiques de premier ordre.

On distingue, comme nous l'avons déjà fait remarquer, la sécrétion, qui fabrique des principes nouveaux, de l'ex-

crétion, qui livre seulement passage aux matériaux de la désintégration. Mais la sécrétion elle-même s'effectue suivant deux modes principaux. Elle est opérée, soit par des glandes sans conduits excréteurs, soit par des glandes à conduits excréteurs.

La différence entre ces deux types glandulaires est d'ailleurs purement morphologique. Dans les glandes à conduits excréteurs, le produit de la sécrétion est versé par un canal spécial à la surface de la peau ou d'une muqueuse (fig. 55 et fig. 56). Au contraire, les glandes closes agissent sur la composition des plasmas ; elles fabriquent aux dépens du sang des produits spéciaux, qui passent ensuite dans la circulation par osmose. Mais au fond, glandes

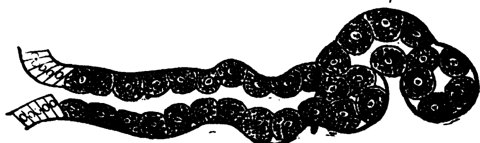


Fig. 55.
Glande gastrique humaine, à sécrétion acide, comme exemple de glande simple.

closes et glandes à canaux sont fort analogues. Dans les unes et les autres, les éléments sécrétants sont des cellules anatomiquement comparables aux cellules épithéliales, tapissant les muqueuses et la peau. Le mode de fonctionnement de ces cellules n'a, d'ailleurs, rien d'exceptionnel. Tout élément anatomique est un laboratoire vivant, empruntant par élection aux liquides nutritifs des matériaux, qu'il façonne et transforme. Ainsi font les cellules épithéliales glandulaires (fig. 55) ; mais comme chez elles les propriétés végétatives sont très-énergiques, elles transforment avec une activité plus grande. Une fois la substance spéciale élaborée, elle est soit expulsée de la cellule sécrétante par simple osmose, soit mise en liberté par

rupture ou résorption de la paroi cellulaire. Dans les glandes closes, le produit de la sécrétion traverse la paroi des capillaires, qui sont en contact avec les cellules sécrétantes, et est ensuite charrié dans la circulation. C'est ce qui arrive, par exemple, pour les cellules glycogéniques du foie, que nous avons déjà mentionnées. Les cellules élaborent les matériaux que leur apporte le sang de l'intestin et restituent aux fins capillaires en contact avec elles ces mêmes matériaux métamorphosés en sucre, qui servira à la nutrition générale. Mais si la fonction glycogénique du foie est maintenant bien élucidée, il est loin d'en être ainsi pour beaucoup d'autres glandes closes. Il faudrait faire pour chacune de ces glandes les recherches précises et méthodiques grâce auxquelles le professeur Maurice Schiff a jeté tant de lumière sur la fonction de la rate, ou du moins sur l'une de ses fonctions.

Que la rate et le pancréas puissent concourir à une même fonction générale, on le pourrait déjà induire de l'anatomie comparée, puisque chez certains vertébrés ces deux glandes n'en forment qu'une seule ; mais le lien physiologique qui les unit était des plus difficiles à découvrir.

De bonnes expériences de Corvisart avaient déjà établi que le suc pancréatique et même l'infusion du pancréas ont la faculté de transformer les substances albuminoïdes en peptones incoagulables par la chaleur. De son côté, Meissner avait montré que la formation de la pancréatine dans le pancréas était intermittente et qu'à jeun le pancréas n'a plus aucun pouvoir digestif. Il en est d'ailleurs de même pour la pepsine stomacale, qui se forme par intermittence aux dépens des peptogènes introduits dans le sang. Mais la formation de la pancréatine est soumise à des conditions physiologiques bien plus complexes; puisqu'elle est absolument dépendante de l'inté-

grité de la rate. Après l'extirpation de cette dernière glande, en effet :

1° L'infusion pancréatique neutre ou acidulée ne digère plus la moindre trace d'albumine, que le pancréas soit pris sur un animal à jeun ou sur un animal en pleine digestion ;

2° Dans ces conditions, de l'albumine introduite par une fistule dans l'intestin duodénum lié à ses deux extrémités ne se transforme plus en peptone, ni chez l'animal à jeun, ni chez l'animal en pleine digestion ;

3° Enfin, toujours après l'extirpation de la rate, l'albumine introduite dans le duodénum lié est bien digérée lentement par le suc duodénal, mais n'est plus transformée rapidement en peptone après la quatrième heure de la digestion stomacale, comme il arrive toujours, chez les animaux encore pourvus de la rate.

En revanche, les glandes peptiques, trouvant dans le sang une plus riche provision de peptogènes, puisque le pancréas n'en absorbe plus, sécrètent avec une activité beaucoup plus grande et suppléent ainsi dans une large mesure à l'inaction de la glande pancréatique (1).

Ces belles recherches, en mettant hors de doute le fait de l'étroite solidarité entre la rate et le pancréas, montrent combien peut être complexe le phénomène de la sécrétion. Les cellules de la rate ne fabriquent pas de ferment pancréatique et il n'y a pas trace de ce ferment dans le sang, néanmoins la fonction du pancréas est abolie, quand la rate est extirpée. Pour que la glande pancréatique puisse élaborer de la pancréatine aux dépens des substances albuminoïdes charriées dans le sang ou de certaines de ces substances, il faut au préalable que les matériaux absorbés par élection dans la glande pancréa-

(1) A. Herzen, *Sulla digestione dell' albumina effettuata dal succo pancreatico e sulla funzione della milza.*

tique aient subi dans les cellules de la rate une première modification, une première façon, dont la nature est encore inconnue.

Mais qui sait combien de ces corrélations physiologiques sont encore ignorées et combien serait fertile l'étude des fonctions des autres glandes closes entreprise à ce point de vue?

Les glandes à conduit excréteur doivent être considérées comme des replis, des diverticules des téguments cutanés ou muqueux. Le travail de spécialisation a porté surtout sur l'épithélium ou l'épiderme de la membrane tégumentaire; le mode de nutrition de cet épithélium s'est modifié et ses cellules, devenues organes de sécrétion, ont acquis la faculté d'élaborer, aux dépens du sang, ici de la salive, là du suc gastrique ou pancréatique, en un point de la bile, ailleurs de la liqueur spermatique, etc., etc.

Les humeurs *sécrétées* ont, toutes, deux caractères communs :

1° Aucune d'elles n'est vivante; aucune d'elles n'est douée de la propriété de rénovation continue, que nous avons signalée dans les plasmas. Leur eau est en grande partie libre; ce n'est pas une eau de constitution et elle est chargée de sels directement dissous;

2° Toutes ces humeurs contiennent un ou plusieurs principes quaternaires, qu'on ne trouve pas dans le sang (peptine, pancréatine, etc.) (1).

En réalité, les glandes sécrétantes sont en même temps des organes d'excrétion. Toutes prennent au sang de l'eau et des sels, substances auxquelles elles livrent passage sans les altérer en rien ; mais, en outre, elles forment aux dépens des matériaux sanguins un produit azoté spécial.

(1) Ch. Robin, *Leçons sur les humeurs normales et morbides*, p. 29, 30, 32, et Introduction, p. XXVI, XXVII.

Très-habituellement l'agent de ces transformations chimiques est la cellule épithéliale. Parfois pourtant la métamorphose peut s'opérer dans la paroi propre de la glande, comme il arrive, par exemple, dans la glande mammaire (1). Mais l'élément sécrétant par excellence est la cellule épithéliale, dont les nombreuses variétés ont chacune leurs affinités spéciales.

Quand ni la paroi de l'organe glandulaire, ni les cellules épithéliales, qui y sont contenues, n'exercent aucune action modificatrice sur les matériaux du sang, mais remplissent seulement l'office d'un filtre, livrant passage à certaines substances et le fermant aux autres, il y a seulement excrétion. L'excrétion est un acte biologique plus simple que la sécrétion et comparable à l'exhalation qui se fait, par exemple, à la surface pulmonaire.

Les glandes excrétoires ne sont jamais closes. Toujours elles déversent l'humeur, qu'elles filtrent, sur un point de la surface tégumentaire cutanée ou muqueuse et cette humeur n'est destinée à coopérer à aucune fonction physiologique, ultérieure. C'est un produit mort, dont l'expulsion est nécessaire, dont la rétention dans l'organisme serait fatale. C'est le résidu de la nutrition.

Les humeurs excrémentitielles, dont la sueur et l'urine sont les types, sont constituées uniquement par de l'eau tenant en dissolution des principes salins et aussi des substances azotées cristallisables, qui, formées dans les éléments anatomiques eux-mêmes, par désassimilation, passent d'abord dans le sang, d'où elles sont extraites et excrétées par les glandes.

Ni les humeurs sécrétées, ni les humeurs excrétées ne sont vivantes, mais les premières ont une composition sensiblement stable, des réactions à peu près fixes. Au

(1) Ch. Robin, *loc. cit.*, p. 17, 18.

contraire, la composition des liquides excrétés est variable, suivant le plus ou moins d'activité de la glande, la proportion et la nature des substances absorbées par la digestion, l'état d'activité ou d'inaction de tel ou tel appareil organique, etc.

On peut ranger en série graduée les divers modes d'élimination, d'excrétion et de sécrétion réalisés dans les organismes.

Le mode le plus simple, le seul existant chez la plupart des végétaux et chez les animaux inférieurs est le passage direct des substances expulsées, à travers les tissus, sans

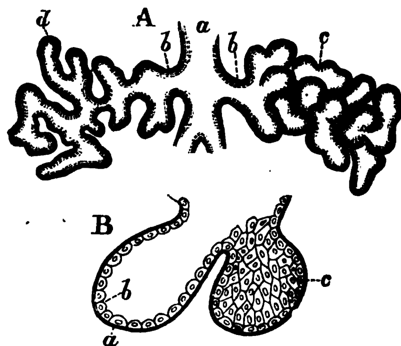


Fig. 56.

A —A*a*, conduit salivaire, avec *b*, ses ramifications latérales, et *d*, leurs extrémités en cul-de-sac. B, deux de ces conduits grossis.
B. — Deux acini salivaires. L'un (*c*) est plein de cellules.

l'intervention d'aucun organe spécial ; c'est la transsudation ou l'exhalation simple, telle qu'elle persiste encore même chez les animaux supérieurs à la surface pulmonaire.

Puis vient le mode excrétoire, c'est-à-dire une sorte de transsudation à travers des glandes particulières ; telles sont les excrétions urinaire et sudorifique.

Au degré immédiatement supérieur, se place la sécré-

tion, qu'on peut appeler *directe*. La glande puise, en effet, directement, dans la masse commune des matériaux du sang, des substances, qu'elle transforme et qui ont un usage physiologique. On peut citer comme exemple les sécrétions salivaire et biliaire (fig. 56).

Le mode le moins simple est celui dans lequel la glande ouverte, pourvué d'un canal, a besoin de la coopération d'une glande close, qui lui prépare les matériaux. Le seul exemple bien démontré de ce mode de sécrétion si complexe nous est fourni par le pancréas et la rate. Mais il est fort possible que d'autres corrélations du même genre existent dans les organismes supérieurs, que la sécrétion salivaire, par exemple, soit liée à celle du corps thyroïde, etc., etc., et que la plupart des glandes closes et ouvertes soient ainsi accouplées.

CHAPITRE XVIII.

DES SÉCRÉTIONS ET EXCRÉTIONS EN PARTICULIER.

Nulle exposition d'ensemble ne saurait atteindre un suffisant degré de clarté, si elle n'est appuyée sur la description de quelques faits particuliers. Il ne sera donc pas hors de propos, après le précis général contenu dans le chapitre précédent, de consacrer quelques pages aux sécrétions et excrétions particulières les plus importantes et les plus typiques.

Évidemment, il faut placer en première ligne la sécrétion hépatique, de toutes la plus complexe. En effet, dans le foie, la division du travail est encore assez confuse et cette glande est simultanément une glande close, une glande sécrétoire à conduit excréteur et une glande d'excrétion. L'anatomie comparée, d'ailleurs, montre encore un plus haut degré de confusion. En effet, tandis que chez divers vertébrés, par exemple chez le lézard, la rate est seulement soudée au pancréas, chez la *chimère monstre,* foie, rate et pancréas sont unis en une masse unique.

Chez les mollusques, les mêmes cellules épithéliales semblent être chargées de sécréter à la fois du sucre et de la bile ; car cette dernière humeur contient toujours du sucre. En outre, il n'y a pas de veine porte et la sécrétion saccharo-biliaire s'accomplit aux dépens du sang encore mal artérialisé.

Chez les mammifères supérieurs, les cellules glycogéniques du foie sont parfois arrondies, souvent polyédriques; leur diamètre est d'environ 0,02 de millimètre (fig. 57). Elles renferment des granulations et un ou deux noyaux munis de nucléoles. Ces cellules sont en contact

avec les plus fins capillaires de la veine porte, auxquels elles empruntent les matériaux nécessaires à la fabrication de leur produit amidonné (fig. 58). Ce produit, dénommé *glycogène*, est analogue à la cellulose des végétaux; il est incristallisable comme l'amidon et, comme lui, susceptible de se transformer isomériquement en glycose, fermentescible et cristallisable. Une fois formée par la cellule hépatique, la glycogène est cédée par elle au sang des capillaires sus-hépatiques et se transforme promptement en glycose, qui normalement est ou détruite par oxydation dans le sang ou utilisée pour la nutrition des éléments anatomiques.

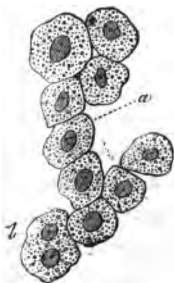


Fig. 57.

Cellules du foie isolées ; *a*, à noyau simple ; *b*, à noyau double.

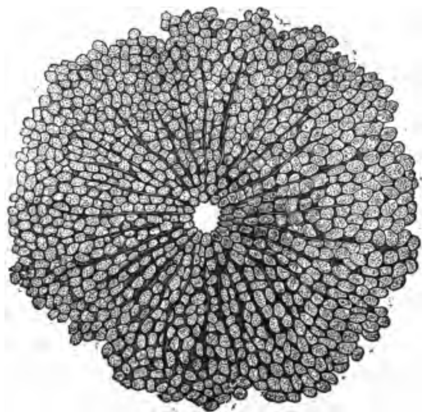


Fig. 58.

Arrangement des cellules du foie dans un lobule coupé transversalement, avec la section de la veine hépatique au centre.

Il n'est nullement certain que les cellules glycogéniques ne contribuent pas aussi pour une part à la sécrétion de la bile. Si elles sont en contact avec les capillaires sanguins, elles le sont aussi avec les fins ramuscules des ca-

naux biliaires, sorte de capillaires excréteurs. Enfin, on y trouve parfois, dans l'état normal, souvent dans l'état pathologique, des granules jaunâtres ou de fines gouttelettes de la même teinte, qui semblent être la matière colorante de la bile.

Mais cette contribution, si elle existe, est sûrement accessoire, car la bile se forme spécialement dans les fins culs-de-sac ou *acini*, d'où partent les canaux biliaires. Ces culs-de-sac reçoivent de minces ramuscules artériels, auxquels leurs parois et les cellules épithéliales, qui les tapissent, empruntent les matériaux, qu'ils élaborent et transforment en bile.

Entre les cellules glycogéniques et les acini sécréteurs de la bile, il n'y a pas de lien physiologique bien intime. En effet, le sang de la veine porte est indispensable au fonctionnement des cellules glycogéniques. Au contraire, la ligature de cette veine n'arrête nullement la sécrétion biliaire alimentée presque exclusivement par les capillaires de l'artère hépatique (1). Inversement la ligature de l'artère hépatique tarit la sécrétion biliaire.

La formation glycogénique et la sécrétion biliaire ne suffisent pas encore à épuiser l'activité fonctionnelle du foie. D'après les travaux de M. Flint, l'une des substances déversées avec la bile le serait par un acte de simple excrétion. Nous voulons parler d'une substance ternaire, très-riche en carbone, qui se rencontre aussi dans le règne végétal chez les champignons. Cette substance est la cholestérine, qui, chez les vertébrés, semble être surtout un produit de la désassimilation du système nerveux. Le sang veineux revenant du cerveau, celui de la veine jugulaire, par exemple, contient 0,801 de cholestérine, tandis que le sang artériel lancé du cœur vers l'encéphale, celui de la

(1) Oré, *Journal de l'anatomie et de la physiologie*. Paris, 1864.

carotide primitive, n'en contiendrait que 0,774. Or, ce produit excrémentitiel, qui se peut d'ailleurs rencontrer en faible quantité dans diverses sécrétions, est spécialement pris au sang par le foie, qui l'excrète dans le liquide biliaire. C'est là un acte de simple élection. Le foie laisse filtrer la cholestérine, de même qu'il livre à divers sels, par exemple à l'iodure de potassium, le libre passage, qu'il refuse à certains autres, notamment au calomel.

La fonction des glandes salivaires est beaucoup plus simple que celle du foie. Les culs-de-sac ou *acini* des glandes en grappe salivaires sont tapissées de cellules épithéliales à un seul noyau (fig. 56). Ces cellules aplaties et pavimenteuses, dans l'état de repos de la glande, se gonflent et se ramollissent pendant la période de sécrétion. C'est alors, qu'elles prennent au sang les matériaux nécessaires à la fabrication de la ptyaline; aussi se chargent-elles de granulations, qui leur donnent un aspect légèrement opaque.

Quoique identiques en apparence, les diverses glandes salivaires de l'homme et des mammifères supérieurs sécrètent, c'est-à-dire fabriquent des substances coagulables, spéciales pour chaque glande. Il y a là des particularités insaisissables, tenant aux actes moléculaires mêmes de la nutrition. Le fait devient plus frappant encore, si l'on range les glandes à venin des reptiles parmi les glandes salivaires; classification justifiée, d'ailleurs, par l'anatomie.

Les cellules salivaires se gonflent bien pendant la période d'activité glandulaire, mais c'est surtout durant celle de repos, qu'elles semblent se détacher de la paroi et s'accumuler dans les culs-de-sac. Puis, quand la glande se met à fonctionner, un flot liquide emprunté au sang traverse la paroi de l'acini et vient dissoudre et entraîner le ferment salivaire formé préalablement. Des phénomènes

analogues se produisent dans les glandes lactifères et peut-être dans la plupart des glandes : dans les glandes lactées, les cellules sécrétoires se chargent de gouttelettes de graisse, que leur rupture met en liberté.

La structure fondamentale des glandes excrétoires ne diffère pas sensiblement de celle des glandes sécrétoires. Le mécanisme de leurs fonctions est aussi le même. Dans l'excrétion, comme dans la sécrétion, ce sont toujours des cellules dites *épithéliales,* qui empruntent au sang des capillaires certaines substances, seulement les cellules excrétoires se bornent à livrer passage aux substances soustraites sans les modifier sensiblement. La plus importante de toutes les excrétions est certainement l'excrétion urinaire ou rénale.

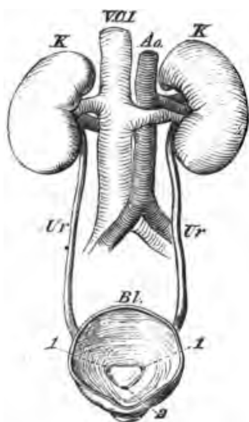


Fig. 59.

Les reins de l'homme (*K*); les uretères (*Ur*); l'aorte (*Ao*); la veine cave inférieure (*VCI*) avec les artères et les veines rénales ; *Bl*, la vessie, dont le dessus est enlevé de manière à montrer l'ouverture des uretères (1, 1) et celle de l'urèthre (2).

Des organes analogues par la fonction aux reins des vertébrés supérieurs (fig. 59 et 60) existent chez nombre d'invertébrés, notamment chez les insectes et les arachnides. Chez ces animaux les cellules sécrétoires sont même parfois très-volumineuses. Celles du *coccus Hesperidum,* par exemple, sont si grosses, qu'elles ne peuvent se placer qu'en une seule file dans le vaisseau de Malpighi, à qui elles donnent un aspect noueux. Ces cellules urinifères se dissolvent et mettent en liberté les nombreuses granulations d'acide urique et d'urate qu'elles contiennent.

Le schéma du rein des vertébrés se trouve chez les

myxinoïdes (1). L'appareil se compose d'un long canal comparable à l'uretère, c'est-à-dire au long et étroit conduit, qui, chez les vertébrés supérieurs, unit le rein à la vessie (fig. 59. Ur.). Chez les myxinoïdes, ce canal porte de distance en distance des culs-de-sac étranglés au col. Au fond de chaque cul-de-sac se trouve un de ces petits pelotons, de capillaires intriqués, que l'on appelle *glomérules de Malpighi*, dans le rein des vertébrés supérieurs (fig. 62 et 63). Cette disposition des capillaires rénaux a pour résultat de ralentir le cours du sang dans la glande, de multiplier les contacts des vaisseaux avec les cellules excrétoires, et par conséquent elle est très-propre à faciliter l'excrétion urinaire. C'est qu'en effet cette excrétion est d'une importance capitale, puisqu'elle représente un grand courant d'expulsion, grâce auquel la masse principale des principes minéraux et des principes azotés quaternaires, désassimilés, inutiles ou nuisibles, est chassée de l'économie animale.

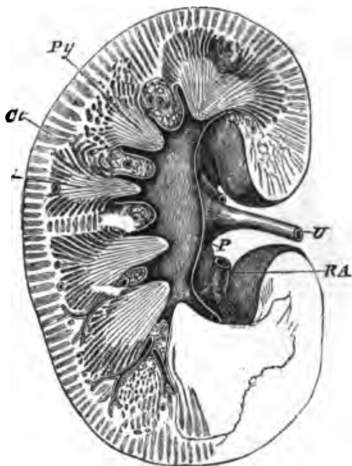


Fig. 60.

Section longitudinale d'un rein humain : C, substance corticale ; N, substance tubulaire ; M, substance médullaire ; P, bassinet ; U, uretère ; RA, artère rénale.

Le liquide urinaire représente le résidu le plus général et le plus abondant de la désassimilation, c'est dire que sa composition est à la fois très-complexe et très-variable.

(1) Leydig, *loc. cit.*

Sauf une très-petite quantité de matière colorante ou quelques produits de sécrétion vésicale chez les animaux pourvus d'une vessie, on n'y trouve point de principes immédiats de la troisième classe. Ce n'est qu'une solution très-chargée de substances minérales ou minéralisées, dont la proportion varie incessamment. On y rencontre

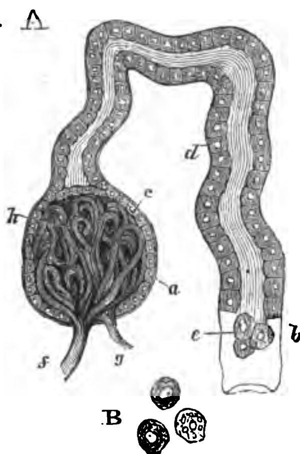


Fig. 61.

A, capsule rénale (*a*) avec le glomérule de Malpighi qu'elle contient (*h*) et le commencement du petit tube (*b*) dans lequel il s'ouvre ; *c*, *d*, épithélium à sa place ; *e*, épithélium détaché du tube ; *f*, l'aorte ; *g*, la veine ; *h*, le glomérule ; B, l'épithélium grossi. Grossissement d'environ 300 diamètres.

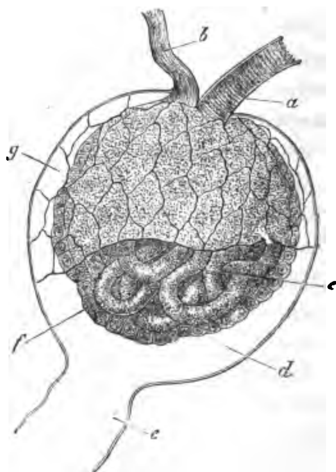


Fig. 62.

Représentation schématique d'un glémorule de Malpighi du rein : *a*, vaisseau sanguin entrant ; *b*, vaisseau sanguin sortant ; *c*, boucles des vaisseaux capillaires à l'intérieur du glomérule ; *d*, partie inférieure de la capsule dessinée sans son épithélium ; *e*, commencement du canal urinaire; *f*, épithélium interne de l'amas de capillaires ; *g*, épithélium interne de la capsule.

quantité de sels minéraux, en première ligne du chlorure de sodium, puis du chlorure de potassium, du chlorhydrate d'ammoniaque, des sulfates de soude et de potasse, des phosphates de chaux, de soude, de potasse, de magné-

sie, du phosphate ammoniaco-magnésien, des carbonates de chaux, de potasse. Les sels organiques et les produits quaternaires résultant de la désassimilation sont des lactates de soude, de potasse, de chaux, des urates de chaux, de magnésie, de soude, de potasse, d'ammoniaque, un peu d'acide urique, et en outre, surtout chez les herbivores, de l'acide hippurique et des hippurates. Enfin il faut ajouter à cette liste longue, quoique incomplète, les plus importants des produits d'excrétion, l'urée, la créatine, la créatinine, principes immédiats de la seconde classe, provenant directement de l'oxydation des substances albuminoïdes dans la trame des tissus.

La composition de l'urine varie sous l'influence de toutes les causes capables d'agir sur la nutrition de l'organisme animal. Elle est plus dense, plus chargée, plus colorée pendant la digestion, plus incolore, au contraire, et tenant en dissolution moins de produits d'excrétion durant la première enfance, alors que l'assimilation l'emporte sur la désassimilation, et que les besoins de la croissance fixent dans l'économie, en grande quantité, les nutriments qui y pénètrent.

Après un exercice violent, l'urée, les phosphates et les sulfates augmentent notablement dans l'urine ; car il y a une plus grande consommation de substances albuminoïdes.

Il en est de même dans l'abstinence ; car alors l'animal se nourrit aux dépens de ses propres tissus, mais, dans ce dernier cas, l'augmentation des phosphates et des sulfates est simplement relative.

Des observations et des analyses bien faites, notamment celles du docteur Byasson, ont mis hors de doute; que tout fonctionnement intellectuel quelque peu énergique, a pour corollaire une augmentation correspondante des phosphates urinaires. Tout acte organique a, en effet, pour base une

oxydation du tissu, de l'élément anatomique qui fonctionne. Le cerveau est soumis à cette loi, comme tout autre organe; mais il est, comme nous le verrons plus loin, très-riche en phosphore; il est donc tout à fait naturel que sa désassimilation donne naissance à des produits d'excrétion phosphorés.

Comme nous l'avons déjà mentionné dans un chapitre précédent, l'urine des herbivores est généralement alcaline et plus riche en acide hippurique et en hippurates; celle des carnivores est habituellement acide, et les urates et l'acide urique y sont en plus grande proportion; mais, comme nous l'avons indiqué, il n'y a là rien de fixe et d'immuable. Tout herbivore, soumis à une alimentation animale, a une urine de carnivore, et la simple abstinence suffit même pour produire ce résultat.

Une abondante alimentation animale a pour résultat une production et une excrétion plus grandes d'acide urique et d'urates. Au contraire, dans l'abstinence, l'acide urique disparaît et l'urée est excrétée en plus grande quantité. L'urée, produit d'une oxydation plus profonde des substances organiques, se forme par désassimilation dans les éléments anatomiques eux-mêmes. Peut-être, pourtant, l'acide urique, résultat d'une oxydation incomplète, se produit-il en grande partie dans le sang lui-même, alors que ce fluide est surchargé de peptones, que les tissus ne suffisent pas à assimiler.

Mais comment expliquer que l'acide urique se trouve en si énorme proportion, précisément chez ceux des vertébrés qui sont doués d'une activité respiratoire extrême, chez les oiseaux, lesquels pourtant, sous le rapport de l'excrétion urique, se rapprochent des reptiles à écailles? En effet, chez les uns et les autres, l'acide urique se forme en si grande quantité, qu'il se concrète et se cristallise même dans l'intérieur des canaux urinaires, et donne à l'urine

l'aspect d'une bouillie blanchâtre. Chez les invertébrés, des concrétions et des cristaux de même nature se rencontrent jusque dans les cellules des glandes urinaires.

On peut rapprocher de l'excrétion urinaire l'excrétion sudorale, opérée par des milliers de glandules cutanées, dont chacune peut être considérée comme un petit rein excrétant une solution aqueuse, chargée de substances analogues à celles qui se trouvent dans l'urine; mais l'excrétion sudorale est bien moins riche en sels et en matières organiques que l'urine. On y rencontre ordinairement de l'urée, mais point d'acide urique et d'urates.

La sécrétion, avons-nous dit, se ramène à des phénomènes de nutrition, c'est-à-dire à des actes moléculaires, s'effectuant au sein des cellules glandulaires, c'est dire qu'elle peut s'opérer sans l'intervention du système nerveux. Tel est évidemment le cas pour les sécrétions végétales. Mais chez les animaux supérieurs, ayant un système nerveux complet et de véritables vaisseaux capillaires, la sécrétion dépend évidemment du degré de réplétion de ces vaisseaux et de la vitesse avec laquelle le courant sanguin les parcourt; il est donc nécessaire qu'elle soit influencée par les nerfs vaso-moteurs, et c'est en effet ce que démontre l'expérience. Normalement, la sécrétion s'accompagne toujours d'une dilatation des capillaires de la glande, d'une congestion, et toute congestion artificiellement provoquée par la section des vaso-moteurs ou par l'excitation des nerfs vaso-dilatateurs, qui semblent exister au moins dans certaines glandes, a pour résultat une plus grande activité sécrétoire.

Des incitations nées ou provoquées dans les centres nerveux soit directement, soit par action réflexe peuvent aussi se transmettre aux nerfs vaso-moteurs glandulaires et réagir sur la sécrétion. Ainsi l'on détermine une abondante sécrétion chez un chien enchaîné et affamé, en pla-

çant un rôti devant lui. Tout le monde sait aussi avec quelle facilité certaines émotions fortes retentissent sur la sécrétion biliaire. Ce sont là des exemples d'actes réflexes physiologiques. Les excitations directes des centres nerveux peuvent de leur côté modifier ou troubler les sécrétions. Dès 1845, M. Schiff avait constaté que des lésions des pédoncules cérébraux rendaient l'urine acide et albumineuse. Des piqûres du plancher du quatrième ventricule cérébral provoquent du diabète sucré (Cl. Bernard). Des lésions de l'isthme et de la partie inférieure de la moelle cervicale peuvent abolir l'excrétion urinaire, produire de l'anurie.

Si brève et incomplète qu'elle soit, l'exposition qui précède suffit pour faire bien comprendre le mécanisme et l'importance de la sécrétion. Nous avons donc maintenant passé en revue tout ce qui a trait à la nutrition, à ses modes, aux divers artifices biologiques, qui la rendent possible au sein des organismes complexes. Par conséquent nous pouvons dès à présent rentrer dans l'exposition générale des grandes propriétés de la matière organisée. Nous savons comment les êtres organisés se nourrissent ; voyons comment ils grandissent et se reproduisent.

LIVRE III

DE L'ACCROISSEMENT

CHAPITRE I

DES PROCÉDÉS DE L'ACCROISSEMENT

L'individu organisé, végétal ou animal, est perpétuellement muable et toujours périssable. Il naît, grandit et meurt, après avoir plus ou moins péniblement maintenu son équilibre organique au sein du milieu extérieur. Nous aurons, prochainement, à formuler les lois générales de la naissance, de la génération des êtres organisés. Voyons maintenant comment ces êtres grandissent. Tout être vivant étant, en définitive, constitué par des éléments anatomiques, il ne saurait augmenter de volume que par l'accroissement ou par la multiplication de ces éléments.

Quant au développement en volume d'éléments anatomiques déjà existants, le phénomène est relativement simple. Ce n'est guère qu'un cas particulier de la nutrition avec une certaine prédominance du mouvement d'assimilation sur celui de désassimilation. L'élément ou les éléments anatomiques acquièrent plus qu'ils ne perdent et leur masse augmente plus ou moins. S'il s'agit d'un être organisé complexe, les accroissements des éléments isolément considérés se totalisent et l'individu tout entier grossit et grandit.

Mais, évidemment, ce mode d'accroissement est insuf-

fisant à rendre compte des phases que parcourt tout être organisé de la naissance à la mort; car, en réservant les cas de génération spontanée, dont nous n'avons pas à nous occuper ici, tout individu complexe des deux règnes organiques naît d'une cellule simple. L'accroissement ne peut donc s'effectuer que par une énorme multiplication des éléments anatomiques. C'est en effet ce qui arrive. Mais, quant au mode de génération de ces éléments histologiques, nous nous trouvons en présence de deux grandes théories rivales que nous avons déjà signalées. L'une, plus spécialement défendue en Allemagne, est la théorie de la *génération cellulaire*. L'autre, soutenue surtout en France par M. Ch. Robin et son école, est la théorie de la *genèse spontanée*.

Suivant la théorie cellulaire, maintenue dans toute sa rigueur par M. Virchow et admise aujourd'hui encore par la plupart des naturalistes et physiologistes allemands,

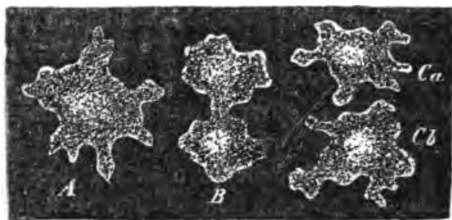


Fig. 63.

Reproduction par segmentation d'un organisme élémentaire, d'une monère : A, monère entière (protamœba); B, la même monère divisée en deux moitiés par un sillon médian; C, les deux moitiés se sont séparées et constituent maintenant des individus indépendants.

toute cellule provient directement et strictement d'une cellule mère préexistante : *Omnis cellula e cellula;* telle est la formule qui résume la doctrine. Quel que soit le procédé biologique, simple division (fig. 63), bourgeon-

nement de la cellule mère, etc., etc., il y a toujours *prolifération* directe aussi bien dans le règne animal que dans le règne végétal.

La doctrine de la genèse spontanée est moins exclusive. Sans nier le fait de la prolifération cellulaire, qui s'observe très-généralement dans le règne végétal et aussi dans le règne animal, au début de l'évolution embryologique, ainsi que pour certaines espèces d'éléments histologiques, les partisans de la genèse affirment, en se basant d'ailleurs sur des observations nombreuses et précises, que le plus souvent dans le règne animal et çà et là dans le règne végétal des éléments histologiques nouveaux apparaissent spontanément dans les blastèmes intercellulaires.

Même en admettant que les défenseurs de la genèse spontanée aient un peu trop généralisé l'application de leur doctrine, c'est bien certainement de ce côté qu'il y a la plus large dose de vérité. Il faut donc admettre deux grands procédés de génération histologique : la prolifération ou la multiplication par extension et division de substance et la genèse ou la multiplication par une sorte de précipitation vivante au sein des blastèmes. Les deux procédés sont observables dans les deux règnes organiques, mais à des degrés fort divers, chacun de ces deux grands modes de multiplication histologique étant dominant dans un règne et exceptionnel dans l'autre. En résumé, prolifération et genèse sont de règle, la première dans le règne végétal, la seconde dans le règne animal.

CHAPITRE II

DE L'ACCROISSEMENT DANS LE RÈGNE VÉGÉTAL

La prolifération cellulaire est loin de s'effectuer suivant un mode uniforme. Il est des procédés divers, qui parfois même se combinent plus ou moins, mais dont les principaux peuvent se ranger sous les titres suivants : 1° *division* simple ou *segmentation*, *scission ;* 2° *bourgeonnement*, *germination* ou *surculation ;* 3° *copulation* ou *conjugaison ;* 4° *génération endogène*.

Dans la segmentation cellulaire, c'est d'abord l'utricule azoté, l'enveloppe immédiate du protoplasme cellulaire, qui se déprime, s'étrangle en un sillon circulaire. Ensuite la tunique externe en cellulose s'engage à son tour dans la dépression, qui, devenant de plus en plus profonde, finit par former une cloison, d'abord incomplète et percée d'un trou circulaire, puis complète. Pendant que cette division s'effectue, un second noyau apparaît dans celle des deux cavités qui en était primitivement dépourvue. Le résultat de cette évolution très-simple est la formation d'une cellule nouvelle, qui se divise à son tour. M. Mohl a, le premier, bien observé ce dédoublement cellulaire dans la cellule terminale des conferves. Depuis on l'a constaté dans la plupart des tissus végétaux. C'est ainsi que les cellules ligneuses des phanérogames forment leurs couches et leurs faisceaux fibreux ; c'est ainsi que les cellules se multiplient dans les sporanges et les spores des algues, etc , etc. Parfois, comme il arrive dans les cellules de la moelle des dicotylédones, la division du noyau précède celle de la cellule.

Dans la germination, la cellule émet en un point de sa

surface un prolongement, une sorte de hernie protoplasmique, qui acquiert un noyau, se sépare par cloisonnement du reste de la cellule mère et vit ensuite d'une vie indépendante. C'est par ce procédé que se reproduisent certaines plantes unicellulaires, par exemple les *vaucherias.*

Chez les algues monocellulaires, les spores et les cellules sexuées, contenant des anthérozoïdes, analogues aux animalcules spermatiques, se forment par le cloisonnement terminal de l'une des ramifications émises par la cellule.

C'est encore chez des algues, chez les algues conjuguées, chez les diatomées, que s'observe surtout le phénomène de la conjugaison. Deux cellules voisines émettent chacune un prolongement; ces saillies se rencontrent, leurs parois se résorbent au point de contact; les protoplasmes des deux cellules se mélangent; bientôt les cellules se confondent absolument. Elles ne forment plus alors qu'une seule cellule, qui est une cellule reproductive, une spore ou zygospore (spirogyra longata).

La multiplication des cellules par endogenèse est caractérisée par la formation dans leur protoplasme d'un plus ou moins grand nombre de cellules filles, qui grandissent, brisent la tunique de la cellule mère et vivent à leur tour d'une vie propre. Ce mode de reproduction existe chez quelques végétaux unicellulaires, par exemple chez les protococcacées (1).

En résumé, tous ces divers modes de prolifération ne diffèrent pas essentiellement les uns des autres. Dans tous les cas, le fond est le même; c'est une parcelle de matière vivante, individualisée, qui assimile au delà de ce qui est nécessaire à son entretien et devient un vrai

(1) Nægeli, *Gattungen einzelligen Algen*. Zurich, 1847.

foyer organique. Il se produit là une exubérance de force et de matière, d'où tendance à la formation de centres nouveaux.

L'accroissement d'un végétal par une simple augmentation du volume des éléments histologiques pourrait être considéré comme le premier degré, le prélude du développement par multiplication cellulaire que nous venons de décrire. Là encore il y a prédominance du mouvement d'absorption, d'assimilation. Les liquides nutritifs se diffusent dans la substance des éléments anatomiques; des molécules vivantes de formation nouvelle s'intercalent par intussusception entre les molécules primitivement existantes; la membrane cellulaire s'étend, le protoplasme grossit; souvent alors la forme de l'élément histologique se modifie. C'est de cette manière, par exemple, que se forment les fibres ligneuses. Les cellules, d'abord sphériques, s'allongent, deviennent cylindriques; leurs extrémités se soudent les unes aux autres, soit carrément, soit obliquement. Des couches concentriques se déposent successivement à la surface interne de la paroi, qu'elles épaississent (1).

Dans d'autres tissus, la cellule sphérique ou polyédrique grossit simplement en vieillissant sans perdre sa forme première. Parfois même on peut, d'après les différences de volume, reconnaître l'âge relatif des cellules d'un tissu. Dans la moelle de beaucoup de plantes, les cellules vont en décroissant de volume graduellement et régulièrement de la région centrale, où elles sont le plus âgées, à la circonférence, où elles sont le plus jeunes. Le même fait s'observe si l'on compare dans une même tige les cellules médullaires à diverses hauteurs. Dutrochet a vu que chez certaines plantes la décroissance graduelle du

(1) Ch. Robin, *Des éléments anatomiques* (*Bibliothèque des sciences naturelles*).

diamètre de la tige de bas en haut tenait seulement au volume décroissant des cellules médullaires, à partir du collet de la racine (1). En effet, des tranches de moelle de sureau prises à diverses hauteurs contenaient sensiblement le même nombre de cellules.

Chez les végétaux inférieurs, notamment dans certaines familles d'algues (conjuguées, diatomées, siphonées), il n'y a encore ni division du travail, ni spécialisation de tissu. La cellule alors se prête à des fonctions diverses, se métamorphose, s'adapte à des usages multiples. En outre, quel que soit le degré de complication de sa structure, elle conserve généralement la faculté de se segmenter, de se multiplier. Il en est tout autrement dans les plantes phanérogames complexes. Là la faculté de se multiplier par division est en quelque sorte l'apanage spécial de cellules incomplétement développées, toujours jeunes. Ce sont les cellules provenant de ces cellules mères, qui se diversifient et forment les différents types histologiques végétaux, dont nous avons précédemment donné une description succincte. D'elles proviennent les tubes, les cellules ligneuses, les cellules à chlorophylle ; mais tous ces éléments dérivés et spécialisés ont, en revanche, habituellement perdu la faculté de division, de multiplication.

L'accroissement n'est qu'une exagération, une saillie de la nutrition ; c'est dire qu'il est dépendant des grandes conditions de milieu, qui régissent cette propriété primordiale de la matière organisée.

Pourtant il paraît ne dépendre qu'indirectement de la lumière. En effet, c'est souvent la nuit que semblent s'opérer avec le plus d'énergie le grossissement et la segmentation des cellules végétales. Les conditions nécessaires sont seulement l'existence préalable, dans les tissus de

(1) Dutrochet, *Mémoires pour servir à l'histoire physiologique et anatomique des animaux et des végétaux*, t. II, p. 139.

la plante, de matériaux de réserve élaborés, assimilables, et d'une suffisante quantité de véhicule aqueux pour diluer et charrier ces matériaux.

L'action de la lumière sur la chlorophylle est nécessaire à la formation des principes immédiats assimilables dans la plante, mais l'assimilation proprement dite se fait très-bien dans l'obscurité. En effet, les parties souterraines des plantes vivent et se développent; les phénomènes de la germination s'accomplissent parfaitement dans l'obscurité; les truffes et toutes les tubéracées effectuent souterrainement tous les phénomènes de leur développement; les champignons, dépourvus de chlorophylle, assimilent quand même les matériaux organiques préparés par d'autres êtres organisés.

La lumière semble même ralentir le développement de la plante. C'est le matin, vers le lever du soleil, que l'entrenœud, en voie d'accroissement, offre son maximum de croissance horaire. Si une tige reçoit sur divers côtés de sa surface des rayons lumineux d'intensité différente, elle s'incurve du côté le plus éclairé, parce que de ce côté les éléments anatomiques s'accroissent et se multiplient moins activement. Ce sont les rayons très-réfrangibles, bleus, violets, ultra-violets, qui exercent seuls cette action retardatrice. Néanmoins, l'allongement moyen est ordinairement plus grand durant les douze heures du jour que durant celles de la nuit, mais ce résultat est dû à l'élévation moyenne de la température diurne, et c'est toujours le matin, au lever du soleil, que se produit le maximum de croissance (1).

A. de Candolle, de Vries, Köppen, Sachs, etc., se sont occupés de l'influence de la température sur la germination, sur l'allongement des diverses parties des plantes.

(1) Sachs, *Traité de botanique*, p. 886-890.

Au-dessous de 0 et au-dessus de 50 degrés, la vie végétale est généralement impossible, et c'est ordinairement aux environs de 30 degrés qu'elle atteint son maximum d'activité. Cette proposition n'a pourtant qu'une valeur générale; car, pour chaque espèce, il y a des températures maxima et minima spéciales et aussi une certaine température particulièrement favorable.

A cette température convenable, le développement est aussi rapide que possible; il s'effectue néanmoins encore au-dessous et au-dessus dans d'assez larges limites; mais avec une lenteur plus grande.

D'observations faites par M. Boussingault sur le grain d'orge, on a conclu que, pour s'effectuer, le développement d'un végétal avait besoin d'une quantité de chaleur donnée et à très-peu près toujours la même (1). Cette quantité donnée de vibrations calorifiques se transformerait en équivalents de travail nutritif et évolutif. Une température inférieure produirait donc un effet identique à la température la plus favorable, mais naturellement en un temps plus long. Dans cette hypothèse, il faudrait considérer les températures trop fortes comme des agents de perturbation, des forces trop grandes, nuisibles par leur excès même et de nature à entraver les phénomènes de la chimie nutritive.

En traitant de la nutrition et de la respiration, nous avons dit quel rôle indispensable jouait l'atmosphère dans la vie des êtres organisés. Il va de soi que, dans une atmosphère impropre à l'entretien de la vie, et aussi dans le vide, l'accroissement s'arrête, les bourgeons floraux et foliacés ne se développent plus, comme l'ont, d'ailleurs, constaté expérimentalement Saussure et bien d'autres expérimentateurs.

(1) Boussingault, *Économie rurale, considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie*, t. II.

Les faits principaux et les conditions générales de l'accroissement végétal étant déterminés, nous pouvons maintenant décrire ou signaler un certain nombre de particularités qui s'y rattachent.

L'époque de la floraison coïncide souvent avec une accélération plus ou moins rapide de l'accroissement, et, à ce moment, on voit, dans les serres, des agaves s'allonger de plus de 2 décimètres en vingt-quatre heures. On a vu, pendant les quatre mois qui précèdent sa floraison, le *corypha umbraculifera* croître quarante-cinq fois plus qu'il ne l'avait fait dans un même laps de temps durant trente-cinq années (1). Les champignons grandissent avec une extrême rapidité. En trois ou quatre jours, le *lycoperdon giganteum* se développe en une sphère qui a 3 décimètres de diamètre. Certaines algues, par exemple les conferves, formées d'un rang unique de cellules juxtaposées bout à bout, s'allongent presque à vue d'œil par division cellulaire.

Dans les végétaux les plus complexes, l'accroissement a été bien étudié. C'est aux dépens de la séve descendante, de la séve élaborée qu'il se produit. Dans les dicotylédonées arborescentes, le *duramen*, le ligneux, n'est plus parcouru par la séve descendante ; de plus, les fibres qui composent ce ligneux sont à demi minéralisées ; elles ont cessé de se multiplier et même de s'accroître. C'est entre l'écorce et le bois que le flot de la séve descendante trouve un passage facile, et c'est là, en effet, que se forme chaque année une couche de tissu nouveau. La plupart des botanistes admettent que la création des éléments histologiques nouveaux a lieu alors par simple division des anciens, surtout de ceux qui constituent la couche la plus interne de l'écorce, puisque, suivant les expériences

(1) Treviranus, *Biologie*.

de Duhamel, un lambeau d'écorce ne tenant plus au reste que par sa partie supérieure ou bien séparé de l'aubier par une lame d'étain, épancha encore du cambium à sa face interne. Suivant M. Trécul, il y aurait aussi très-probablement apparition de nouveaux éléments par genèse spontanée (1). D'après cet observateur, lors de la production des bourgeons, il se produirait d'abord un épanchement de blastème gélatiniforme entre l'écorce et l'aubier. Cet épanchement formerait un mamelon, puis dans ce mamelon naîtraient de petites cellules. M. Ch. Robin va plus loin. Suivant lui, des éléments histologiques différenciés naissent aussi par genèse au centre du mamelon celluleux. On y verrait apparaître des cellules ovoïdes disposées en faisceau unique et ayant dès l'origine l'aspect réticulé, puis à la suite naîtraient des cellules à fil spirale. Une fois l'évolution du bourgeon plus avancée, quand les feuilles sont formées, le faisceau unique primitif se ramifie pour envoyer de petits faisceaux dans chaque feuille (2).

La moelle croît énergiquement quand elle n'est point emboîtée dans un tissu ligneux rigide, qui l'isole du système cortical. Dans ce dernier cas, au contraire, souvent elle meurt, se détruit, et la tige devient fistuleuse. Mais, quand la moelle est reliée par des rayons transversaux à l'écorce et au cambium, elle s'accroît le plus souvent par division cellulaire. Pourtant Dutrochet affirmait déjà avoir vu des cellules nouvelles naître, par genèse spontanée, dans les interstices cellulaires de la moelle. Les cellules médullaires sont ordinairement molles, très-osmotiques; elles s'imbibent facilement d'eau, de liquide séveux, deviennent turgescentes et aptes à produire des blastèmes générateurs.

(1) Trécul, *Annales des sciences naturelles*, 1846.
(2) Ch. Robin, *loc. cit.*, p. 39.

Le *duramen* est une sorte d'état sénile. Les arbres qui en sont dépourvus, comme le peuplier, l'érable, croissent généralement avec une rapidité plus grande que les autres ; car l'accroissement s'effectue alors dans toute l'épaisseur de la tige et non plus seulement entre l'écorce et l'aubier. En effet, l'accroissement a lieu partout où pénètre la séve élaborée. Dutrochet cite comme exemple la tige radiciforme de la betterave, composée de couches de tissu cellulaire lâche, entre lesquelles circule le cambium (1).

Le développement de la plante en longueur s'accomplit de deux manières : d'une part, par élongation terminale due à l'évolution du bourgeon, qui produit des entrenœuds ou *mérithalles* de nouvelle formation ; d'autre part, il s'effectue un allongement des mérithalles déjà formés, par l'allongement de leurs organes vasculaires ou cellulaires.

Les racines ne s'allongent guère que par la pointe, puisque deux ligatures placées sur leur trajet, près de leur extrémité, ne s'écartent pas l'une de l'autre (Duhamel).

La plupart des végétaux croissent pendant toute la durée de leur vie, soit surtout en longueur, comme les monocotylédonées, soit dans les deux dimensions, comme les dicotylédonées. L'accroissement va seulement se ralentissant de plus en plus à mesure que les tissus végétaux se minéralisent, et sa cessation complète coïncide généralement avec la mort du végétal. La mort, d'ailleurs, peut être partielle. En effet, dans la plante, il n'y a pas encore de centralisation. Tout végétal est assez comparable à un polypier. Chaque bourgeon a son individualité, son existence propre ; il attire et élabore les fluides nourriciers ; aussi, dès qu'un bourgeon terminal meurt, la branche qui le porte meurt aussi.

(1) *Loc. cit.*, t. II, p. 162.

La chute des feuilles caduques est déterminée bien moins par le froid automnal qne par la terminaison de l'accroissement foliacé, due sans doute à une minéralisation trop grande. Beaucoup de feuilles caduques tombent aussi bien avant l'apparition du froid. Quant aux feuilles dites *persistantes*, elles ne diffèrent guère, sous ce rapport, des feuilles dites *caduques*. Au lieu de tomber en masse, elles tombent une à une, quand leur accroissement est parvenu à son terme.

Dans les tiges ligneuses des dicotylédonées, à vrai dire, la mort coudoie incessamment la vie. Chaque année, un certain nombre d'éléments anatomiques perdent la faculté de croître, de se multiplier, puis celle de se nourrir. Ils deviennent d'abord ce qu'on appelle des tissus définitifs, puis se détruisent peu à peu; mais, à la surface de l'aubier, là où passe un flux de cambium, de séve élaborée, il s'engendre une nouvelle couche vivante. A mesure que la mort envahit le centre de la tige, la vitalité se réfugie et se renouvelle à la surface, et ces deux régions sont reliées entre elles par une série graduée de couches d'autant plus vivantes qu'elles sont plus voisines de l'écorce, d'autant plus mortes qu'elles sont moins éloignées du centre.

CHAPITRE III

DE L'ACCROISSEMENT DANS LE RÈGNE ANIMAL

Quand la substance fécondante mâle s'est mélangée, molécule à molécule, avec celle de l'ovule femelle (fig. 64), l'a imprégnée, le travail d'évolution, c'est-à-dire de génération et de multiplication des éléments anatomiques, commence dans cet ovule. Tout d'abord l'accroissement débute dans l'ovule par le procédé inférieur de la *segmentation,* du *fractionnement* (fig. 65). Des cellules, toutes semblables entre elles, se juxtaposent pour former une membrane, en un point de laquelle apparaît le rudiment de l'embryon. La membrane primitive est le *blastoderme,* le premier indice de l'embryon s'appelle la *tache embryonnaire.* En ce point, la membrane blastodermique est double; elle se compose d'un feuillet *externe, séreux* ou *animal,* et d'un feuillet *interne, muqueux* ou *végétatif.* Du premier feuillet procéderont surtout, chez les vertébrés, les téguments et les organes de la vie de relation; le second feuillet donnera surtout naissance aux appareils de la vie végétative. Ces premiers phénomènes de développement sont sensiblement les mêmes dans tout le règne animal, de la base au faîte.

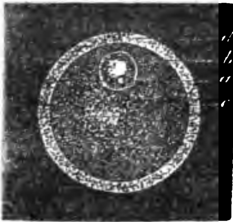


Fig. 64.

Un œuf de mammifère (une simple cellule) : A, nucléole *(nucleolus)* ou point germinatif de l'œuf; B, *nucléus* ou vésicule germinative de l'œuf; C, substance cellulaire ou protoplasme, jaune d'œuf; D, membrane enveloppante du jaune, chez les mammifères; on l'appelle *membrana pellucida* à cause de sa transparence.

Une fois ce travail préparatoire accompli dans l'ovule,

le procédé de segmentation cède le pas au procédé de la genèse. Les cellules du blastoderme disparaissent graduellement au fur et à mesure que naissent entre elles, par genèse, les éléments anatomiques destinés à constituer définitivement le nouvel individu. C'est entre les deux

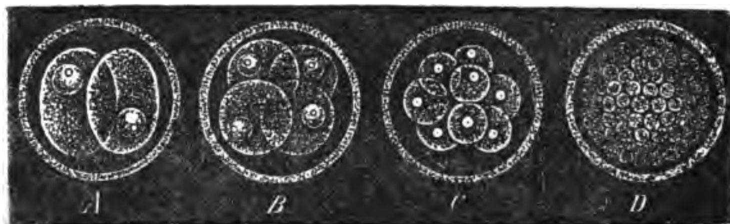


Fig. 65.

Premier stade de l'évolution d'un mammifère, « segmentation de l'œuf », multiplication des cellules par des scissions réitérées : A, l'œuf se divise par un premier sillon en deux cellules ; B, les deux cellules se divisent en quatre cellules ; C, les dernières se divisent en huit cellules ; D, la segmentation, indéfiniment réitérée, a produit un amas sphérique de nombreuses cellules.

feuillets blastodermiques que naissent ces premiers éléments. Dès lors s'accuse la différence entre les animaux invertébrés et les animaux vertébrés. Chez ces derniers, en effet, on voit se dessiner bientôt le rudiment de la colonne vertébrale, les cellules de la *notocorde* (fig. 66). Cette notocorde s'engaîne. Puis on assiste à la formation des premiers corps cartilagineux des vertèbres et des premiers éléments de l'axe nerveux central, etc., etc. Tous les tissus et tous les organes apparaissent ainsi peu à peu. Au moment de leur naissance, les éléments anatomiques animaux sont déjà pour la plupart bien caractérisés ; néanmoins ils subissent encore une évolution ; ils se développent ; des granulations azotées, des nucléoles se forment peu à peu dans leur épaisseur ; leur volume augmente. Mais, une fois arrivés à leur complet développe-

ment, ils sont stables ou du moins ne se modifient plus que régressivement pour disparaître et périr. Jamais une espèce histologique animale ne se métamorphose en une autre; jamais, par exemple, une fibre musculaire ne devient fibre nerveuse, etc. (1).

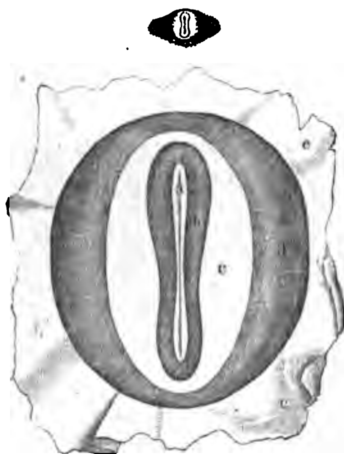


Fig. 66.

OEuf de chien. L'embryon, en forme de semelle, est ébauché. — *a*, sillon dorsal; *b*, plaques dorsales; *c*, aire claire; *d*, aire germinative opaque; *e*, membrane de la vésicule germinative.

La petite figure supérieure est de grandeur naturelle. L'inférieure est grossie.

Le noyau est ordinairement le centre de genèse et d'évolution de l'élément anatomique. C'est lui qui, habituellement, apparaît le premier; c'est après lui que se montrent les nucléoles. La plupart des éléments destinés à une prompte destruction, comme les hématies, les leucocytes, n'ont pas de noyau. Si les hématies primitives, celles qui se montrent tout d'abord dans l'embryon, sont pourvues de noyau, c'est vraisemblablement qu'elles ont alors des fonctions dont plus tard elles seront privées. En effet, chez l'embryon, au moment de la genèse des premières hématies, il n'y a point encore de ces glandes sanguines, dites *glandes closes,* où se fabriqueront dans la suite les hématies nouvelles. Aussi les premières hématies sont-elles des éléments plus complets, doués d'une vitalité plus intense, capables d'engendrer par segmentation d'autres hématies semblables à elles.

(1) Ch. Robin, *Des éléments anatomiques,* p. 47-54.

Chez l'animal, d'ailleurs, la multiplication histologique par scission, segmentation, ne s'observe guère que sur des éléments encore peu différenciés, n'ayant que des fonctions végétatives, par exemple sur les hématies, les leucocytes, les cellules épithéliales. Jamais les éléments histologiques supérieurs, la cellule nerveuse, la fibro-cellule musculaire, ne se segmentent (1).

Là où la segmentation s'observe, elle ne se produit que sur des éléments pleinement développés, adultes en quelque sorte. Les petits noyaux, les petites cellules ne se segmentent pas. C'est que, pour tout élément anatomique, l'accroissement a deux phases : la première, durant laquelle l'élément augmente seulement de volume ; l'autre, durant laquelle il se multiplie. L'une et l'autre ont également pour raison d'être un excès d'assimilation ; mais, pour que la seconde puisse se produire, il faut naturellement que l'élément anatomique ait atteint sa limite de croissance, qu'il ne puisse plus assimiler dans sa substance des molécules de nouvelle formation.

Chez le vertébré adulte, la genèse des globules blancs, des leucocytes, se produit surtout dans les ganglions lymphatiques et dans les glandes sanguines closes, dans la rate par exemple. Des observations récentes ont montré que le sang veineux sortant de la rate était beaucoup plus riche en globules que le sang artériel qui y arrivait.

Il est très-vraisemblable que les nouveaux globules rouges proviennent simplement de la modification, de la transformation des globules blancs. Ainsi, le sang veineux de la rate contient de nombreux globules intermédiaires aux leucocytes et aux hématies. Ces formes mixtes se rencontrent aussi en grand nombre dans le sang après une hémorrhagie ou des saignées nombreuses, alors que le liquide sanguin est en voie de régénération.

(1) Ch. Robin, *ibid*.

Nous avons précédemment cité un fait curieux observé par Burdach, la coloration en rouge d'un caillot lymphatique. Des faits analogues ont été notés par Virchow, Friedreich. Ces physiologistes, eux aussi, ont vu la lymphe rougir à l'air.

Il semble, au premier abord, que la question de savoir si les éléments anatomiques naissent par scission ou par genèse, soit purement du domaine de la science et relève seulement de l'observation et de l'expérience. Il n'en est rien pourtant. C'est là un de ces sujets qui ont le privilége de mettre en jeu des passions nullement scientifiques. En effet, la genèse spontanée des éléments anatomiques dans les blastèmes semble toucher d'assez près à la théorie exécrée et honnie de la génération spontanée. Mais, à contempler les choses de sang-froid, toute cette fougue a bien peu de raison d'être. Deux faits sont bien certains, c'est d'abord que les éléments anatomiques se multiplient, c'est ensuite qu'ils se multiplient par des procédés divers, mais dans des conditions générales identiques. Ces données principales priment tout. Peu importe qu'une cellule naisse par scission, germination, endogenèse ou genèse. En définitive, le contenu d'un élément anatomique vivant ne diffère pas essentiellement du blastème environnant; ici et là il y a des substances organisées au sein desquelles s'effectue l'incessant mouvement moléculaire qui constitue le phénomène fondamental de la vie. Si l'assimilation l'emporte sur la désassimilation, il en doit nécessairement résulter la formation de nouveaux centres vivants, de nouveaux éléments anatomiques, et il importe assez peu, au point de vue philosophique, que cette formation nouvelle s'effectue en dehors ou en dedans d'une cellule.

L'observation montre en effet que, dans les tissus vivants, les procédés de scission et de genèse s'associent

parfois ou se succèdent. Des noyaux, des cellules même, nées par genèse, par exemple des leucocytes, peuvent ensuite se multiplier par segmentation et germination (1).

Suivant M. Robin, l'apparition des couches épithéliales à la surface du derme cutané et des muqueuses débuterait par la genèse des noyaux. Entre ces noyaux se produirait une couche de matière amorphe, qui se segmenterait ensuite et s'individualiserait en cellules. Quant aux éléments aristocratiques, comme les cellules nerveuses, les fibres-cellules, ils ne seraient jamais le siége de cette prolifération par scission.

(1) Ch. Robin, *loc. cit.*, p. 47, 48.

CHAPITRE IV

DES CONDITIONS GÉNÉRALES DE L'ACCROISSEMENT

L'accroissement résulte essentiellement de la prédominance de l'assimilation sur la désassimilation ; c'est dire qu'il ne saurait s'effectuer sans le concours, la présence immédiate d'une suffisante provision de matériaux assimilables. Mais les éléments anatomiques vivants semblent parfois capables de modifier profondément, de métamorphoser ces matériaux dans une large mesure. Suivant M. Cl. Bernard, les larves de mouches formeraient leurs tissus organisés aux dépens de substances solubles dans l'alcool et privées par conséquent de matières albuminoïdes proprement dites. Pourtant, en règle générale, une certaine analogie de constitution chimique est nécessaire entre les diverses espèces d'éléments histologiques et les blastèmes aux dépens desquels ces éléments vivent et se développent. Si, par exemple, on transplante par greffe animale des éléments anatomiques d'un animal à un autre, l'opération a d'autant plus de chances de succès que les espèces animales sont plus voisines.

Quant aux conditions générales de chaleur, de lumière, d'oxygénation, d'alimentation, nous devons encore une fois renvoyer aux chapitres traitant de la nutrition, et nous borner à signaler ici les faits particuliers en rapport direct avec l'accroissement lui-même.

On a prétendu que certains animaux, que certains tissus pouvaient vivre et se développer sans oxygène. Ces faits paradoxaux ne sauraient être accueillis qu'avec une extrême réserve. Ils ont été sans doute insuffisamment observés, mal élucidés, et rentrent vraisemblablement

dans la loi générale suivant laquelle l'oxygène est indispensable à la nutrition, par suite à la vie des êtres organisés et de leurs éléments anatomiques. C'est bien de l'oxygène que l'on peut dire ce que les anciens disaient de l'air en général, qu'il est le *pabulum vitæ*.

De même que les éléments anatomiques végétaux, les éléments animaux ne peuvent se développer et se multiplier qu'entre certaines limites de température. Il y a, pour le développement animal et végétal, des points thermiques cardinaux qui semblent très-voisins les uns des autres. La température de 30 à 35 degrés paraît être une des plus favorables, puisque c'est celle que maintiennent les animaux à sang chaud, en dépit des variations thermiques du milieu extérieur. Dans ses expériences d'embryogénie, M. Dareste a vu que les températures élevées déterminaient constamment d'abord une accélération des phénomènes évolutifs, puis leur arrêt prématuré, d'où le *nanisme*. Au contraire, les températures inférieures ralentissent beaucoup la marche du développement ; elles arrêtent même l'évolution et ne permettent pas à l'embryon de dépasser une certaine période (1).

L'influence des saisons se traduit par des résultats analogues. Pour l'homme et pour la plupart des animaux, le maximum de croissance tombe en été et le minimum en hiver.

Si, au moyen d'une couveuse artificielle, comme l'a fait M. Dareste, on limite l'influence de la source de chaleur à un point déterminé de l'embryon, on peut, en variant la position de l'œuf, déterminer tous les types de monstruosités simples décrits dans les traités de tératologie.

La rapidité des échanges nutritifs, et par suite celle de

(1) *Exposé des titres et des travaux scientifiques* de M. Camille Dareste. Paris, 1868.

l'accroissement, se rattache aussi étroitement à l'abondance des liquides au sein des tissus vivants. Chez les végétaux ligneux, les fibres vivent d'autant moins qu'elles se durcissent davantage. Les plantes à tissus mous, chargés de sucs, croissent plus vite que les végétaux à tissus denses.

De même, chez les animaux, les éléments histologiques sont d'autant moins imprégnés d'humidité que l'animal est plus âgé. La fibre musculaire d'un jeune animal renfermait 26 pour 100 d'eau ; celle d'un animal adulte de la même espèce n'en comptait plus que 23,5. Haller, comparant entre eux les divers degrés de cohésion des cheveux humains suivant les âges, trouva qu'à huit ans cette cohésion était représentée par 10, à vingt-deux par 17, à cinquante-cinq par 25 (1).

Le degré de fluidité des éléments anatomiques est d'autant plus grand que l'animal est plus jeune, et la rapidité de la rénovation et de l'accroissement lui est corrélative. D'après les tables de Quételet, l'accroissement de l'homme est de deux cinquièmes la première année, d'un septième dans la seconde, d'un onzième pour la troisième, d'un quatorzième pour la quatrième, d'un quinzième pour la cinquième, d'un dix-huitième durant la sixième et la septième. Il n'est plus que d'un soixante-huitième à dix-huit ans et d'un deux-centième à dix-neuf.

A propos de l'influence avantageuse d'une humidification convenable sur la croissance, Burdach fait remarquer que, chez beaucoup d'animaux aquatiques, poissons, amphibies, cétacés, l'accroissement dure autant que la vie, en se ralentissant seulement graduellement et de plus en plus.

La caractéristique nutritive de la jeunesse est la rapi-

(1) Burdach, *Traité de physiologie*, t. V, p. 491.

dité et la facilité des échanges nutritifs. C'est pourquoi les phénomènes de la coloration et de la décoloration des os par la garance se produisent avec d'autant plus de rapidité que l'animal est plus jeune.

Avec le progrès de l'âge, toutes les sécrétions s'appauvrissent, notamment la perspiration cutanée ; en même temps l'oxydation générale des tissus s'amoindrit, la production de chaleur diminue ; toutes les fonctions deviennent moins énergiques, certaines s'éteignent peu à peu, notamment celles des éléments histologiques les plus différenciés, les plus nobles, les moins végétatifs, celles des éléments nerveux et musculaires. La force décroît et l'intelligence s'émousse.

C'est que la propriété maîtresse de la substance vivante décline graduellement. La nutrition devient de moins en moins active, et toutes les autres propriétés dont elle est le support baissent avec elle. Chez les vertébrés supérieurs, ce déclin de la nutrition se traduit immédiatement par le ralentissement du pouls et de la respiration. L'animal résiste moins bien aux basses températures, souvent il y succombe.

Durant la jeunesse l'assimilation l'emportait sur la désassimilation. Durant la vieillesse il s'établit un rapport inverse. Les tables publiées par Quételet montrent que le poids du corps diminue à partir de la cinquantième année chez l'homme, de la soixantième chez la femme. A quatre-vingt-dix ans, ce poids se réduirait chez le premier de 136 livres à 123, chez la seconde de 120 à 103 et demie.

La durée moyenne de la vie varie, dans les deux règnes organiques, avec l'espèce.

En général, les organismes inférieurs vivent moins longtemps que les organismes supérieurs. Moins riches en organes et en appareils, moins différenciés, ils s'harmonisent moins facilement avec le milieu extérieur et ses

variations. Les champignons ne durent que quelques jours au plus. Les infusoires parcourent parfois en quelques heures le cycle de leur vie, et la plupart des invertébrés n'ont qu'une brève existence.

En général, la vie est d'autant plus courte que l'évolution embryonnaire et l'accroissement ont été plus rapides. L'aptitude à la génération étant en quelque sorte le signe du plein développement de l'être organisé, il est naturel que son apparition tardive soit liée à une plus grande longévité. C'est en effet ce qui a lieu pour la plupart des vertébrés. Chez beaucoup d'invertébrés, l'apparition des fonctions génératrices est au contraire l'avant-courrière de la mort. Nombre d'insectes meurent aussitôt après avoir procréé. Les papillons mâles succombent même parfois en accomplissant l'acte de la génération. Les éphémères vivent un ou deux ans à l'état de larves, et quelques heures seulement à l'état d'insectes parfaits.

Pour les plantes, la fructification est aussi un acte suprême, présageant une mort complète et prochaine chez les plantes harbacées, une mort partielle chez les végétaux vivaces. Le mot célèbre de Proudhon : « L'amour, c'est la mort », est donc ici l'exacte expression de la vérité. Cela est même tellement vrai, qu'on peut parfois abréger ou allonger la vie en accélérant ou retardant le moment de la reproduction. Si, à l'aide d'un riche engrais, on amène des plantes bisannuelles à fructifier durant la première année de leur existance, elles meurent cette année même. Au contraire, on rend le réséda ligneux et vivace en coupant ses fleurs avant la formation de la graine (1).

Les insectes eux-mêmes vivent plus longtemps alors qu'on les empêche de s'accoupler.

La mort peut être générale ou partielle. Cette der-

(1) De Candolle, *Organographie végétale*, t. II.

nière est fréquente chez tous les organismes à faible centralisation physiologique, chez les végétaux, chez beaucoup d'animaux inférieurs. Elle n'est même pas rare chez les mammifères. Inversement, chez ces derniers, la vie partielle de certains éléments, notamment des épithéliums, persiste souvent après la mort générale caractérisée par la cessation des trois fonctions primordiales, de la circulation, de la respiration, de l'innervation.

La mort peut arriver par simple vieillesse, par suite d'un ralentissement extrêmement lent des mouvements moléculaires de la nutrition. Elle a lieu alors sans douleur, sans maladie, sans agonie, parfois sans conscience, et même peut s'accompagner d'un certain sentiment de bien-être : c'est alors l'*euthanasie* de Platon.

Pinel a observé qu'à la Salpêtrière la plupart des femmes nonagénaires mouraient sans secousse et pendant leur sommeil.

La mort n'est au fond que l'arrêt définitif des échanges nutritifs. Tout être, tout élément anatomique qui cesse d'assimiler et de désassimiler, rentre, par ce fait, dans le monde minéral. Les matériaux qui le constituent subissent alors des dédoublements, des décompositions, des désagrégations purement chimiques.

Durant la vie d'un organisme complexe, quantité de ses éléments histologiques meurent, sans que leur mort préjudicie en rien à la vie de l'ensemble. Parfois les éléments de quelques tissus se compriment mutuellement et déterminent ainsi, par simple pression, la graduelle disparition de certains d'entre eux. Parfois des éléments anatomiques se liquéfient, comme le font normalement les cellules embryonnaires : c'est ce qu'on appelle l'ulcération. A la surface de la peau et des muqueuses, dans les glandes, des milliers de cellules épithéliales se détachent incessamment, tombent et se dissolvent.

Même dans la trame des tissus profonds, nombre d'éléments histologiques disparaissent par résorption simple et sont ou ne sont pas remplacés par des éléments de formation nouvelle.

Tout ce qui précède montre à l'évidence combien la vie est chose variable, modifiable, en intensité et en durée. Chez certains individus elle se prolonge deux fois, trois fois plus que la vie moyenne de leur espèce. Thomas Parr se maria à cent quarante-deux ans et était encore apte à accomplir l'acte de la génération. Il mourut à cent cinquante-deux ans, et Harvey, qui fit son autopsie, lui trouva des muscles encore pleins et bien développés, des viscères en bon état, point d'ossification des cartilages (1).

On connaît un bon nombre d'exemples de rajeunissement partiel chez des vieillards. Ce sont des cheveux blancs qui redeviennent noirs, des dents nouvelles qui poussent. D'autres fois, chez des femmes âgées, on voit reparaître les règles et l'aptitude à la fécondation. Nous avons vu, quant à nous, une fois, à la suite d'un érysipèle du cuir chevelu, chez une femme plus que sexagénaire, les cheveux blancs être remplacés par des cheveux noirs.

En fait, la mort est nécessaire pour tous les êtres organisés de notre planète; mais elle n'est point fatale. Comme le dit Ch. Robin (2), « aucune contradiction scientifique ne nous empêcherait de concevoir un parfait équilibre entre l'assimilation et la désassimilation indéfiniment répétées chez tous les êtres existants, sans y interrompre la continuité de cette rénovation moléculaire et sans qu'il s'ensuivît une décomposition de la substance organisée... L'élément anatomique ou l'organisme, une fois produit,

(1) *Philosophical Transactions*, 1669.
(2) Ch. Robin, *Élém. anat.*, p. 96.

une fois né, pourrait être supposé présentant un parfait équilibre de durée *indéfinie* entre l'acte d'assimilation et celui de désassimilation. » Condorcet avait déjà écrit : « Serait-il absurde maintenant de supposer que le perfectionnement de l'espèce humaine doit être regardé comme susceptible d'un progrès indéfini, qu'il doit arriver un temps où la mort ne serait plus que l'effet ou d'accidents extraordinaires ou de la destruction de plus en plus lente des forces vitales, et qu'enfin la durée de l'intervalle moyen entre la naissance et cette destruction n'a elle-même aucun terme assignable ? Sans doute l'homme ne deviendra pas immortel, mais la distance entre le moment où il commence à vivre et l'époque commune où naturellement, sans maladie, sans accident, il éprouve la difficulté d'être, ne peut-elle s'accroître sans cesse (1) ? »

Oser dire aujourd'hui qu'il n'est pas impossible de vaincre la mort, le grand ennemi, c'est s'exposer encore à être taxé de folie. Les doctrines animistes et vitalistes défaillent ; elles ont perdu tout crédit dans la science ; mais un joug longtemps porté laisse toujours une empreinte durable, et, dans le domaine des opinions, l'effet survit souvent à la cause. Des siècles durant, on a considéré la vie comme un fait mystérieux, miraculeux, audessus de toute investigation. Chaque organisme était regardé comme une monarchie despotiquement gouvernée par une entité métaphysique. Le problème de la vie devait, croyait-on, défier éternellement le pouvoir de la science humaine. Il y avait là un *fatum*, contre lequel il était inutile de lutter. Telle est encore, aujourd'hui, l'opinion dominante ; mais elle n'a plus d'autre raison d'être que la force de l'habitude. Le phénomène de la vie a été analysé. Nous savons qu'il se ramène à de simples

(1) Condorcet, *Progrès de l'esprit humain*.

échanges moléculaires, tout à fait comparables à ceux qui s'effectuent dans une pile électrique. Qu'il y ait dans les phénomènes vitaux quelque chose d'immuable, de fatal, nul ne le saurait aujourd'hui soutenir. Tout être vivant se maintient tant qu'il y a en lui un certain équilibre nutritif, tant que l'assimilation et la désassimilation se balancent à peu près. Or il est constant que la durée de cet équilibre dépend d'une infinité de causes externes et internes. De deux enfants naissants, l'un peut vivre une heure, l'autre un siècle et demi. Il n'y a ni loi ni règle, quand le cours de la vie est abandonné aux hasards des événements, comme il arrive toujours. *A priori*, il n'est sûrement pas impossible, un être organisé étant donné, de maintenir indéfiniment chez lui le flot de la vie à un étiage constant, et il nous semble que la science est aujourd'hui suffisamment armée pour aborder de front ce grand problème. Il faudrait faire porter l'observation et l'expérience tout d'abord sur des organismes fort simples et dont la vie normale est forte courte. On commencerait par déterminer la durée moyenne de cette vie alors que l'organisme est abandonné à lui-même. Puis, se guidant autant que possible d'après les données scientifiques acquises, on ferait varier de cent manières la lumière, la température, l'alimentation, la composition de l'atmosphère, etc., etc., en notant soigneusement l'effet de chaque facteur nouveau, de chaque variation de milieu.

D'autre part, on scruterait les conditions de la vie et de l'organisme chez les espèces remarquables par leur longévité, puis chez les individus qui exceptionnellement durent longtemps. Évidemment l'investigation elle-même suggérerait de nouveaux procédés de recherche. On échouerait ou l'on réussirait. Dans tous les cas, il résulterait sûrement quelque chose d'utile de ce labeur.

La biologie, en effet, ne sera pas une science complète

avant d'avoir appris à maîtriser la vie. C'est ce que proclame déjà un savant, qu'on n'accuserait pas, sans injustice, de témérité philosophique : « Les actions physico-chimiques, qui manifestent et règlent les phénomènes propres aux êtres vivants, rentrent dans les lois ordinaires de la physique et de la chimie générales. » (P. 4.)

«... Il n'y a qu'une mécanique, qu'une physique, qu'une chimie, qui comprennent dans leurs lois tous les phénomènes qui s'accomplissent autour de nous, soit dans les machines vivantes, soit dans les machines brutes. Sous le rapport physico-mécanique, la vie n'est qu'une modalité des phénomènes généraux de la nature ; elle n'engendre rien, elle emprunte ses forces au monde extérieur, et ne fait qu'en varier les manifestations de mille et mille manières. » (P. 135.)

«... En modifiant les milieux intérieurs nutritifs et évolutifs, et en prenant la matière organisée en quelque sorte à l'état naissant, on peut espérer changer sa direction évolutive et par conséquent son expression organique finale. Je pense, en un mot, que nous pourrons produire scientifiquement de nouvelles espèces organisées, de même que nous créons de nouvelles espèces minérales, c'est-à-dire que nous ferons apparaître des formes organisées, qui existent virtuellement dans les lois organogéniques, mais que la nature n'avait point encore réalisées. » (P. 113.)

«... La vie ne s'éteint et la mort naturelle n'arrive que parce que la production de l'élément plasmatique s'arrête et parce qu'alors les tissus passifs s'imprègnent et s'incrustent de matières minérales ou autres, qui gênent leurs fonctions et amoindrissent de plus en plus la nutrition ou la formation génésique des éléments histologiques actifs. » (P. 126.)

«... En résumé, ce qui importe au physiologiste, c'est de pouvoir expérimentalement diriger les phénomènes

évolutifs de façon à modifier la nutrition de la matière organisée, afin d'arriver par là à changer plus ou moins la durée, l'intensité ou même la nature de ses propriétés vitales. » (P. 129.)

«... Jusqu'à présent la physiologie s'est débattue dans des idées transitoires, qui disparaîtront à mesure que la science se constituera... En physiologie, nous en sommes aujourd'hui au temps où en était l'alchimie avant la fondation de la chimie... Les vues que l'on pourrait émettre aujourd'hui relativement aux moyens d'action du physiologiste expérimentateur sur la nature vivante ne seraient que des résultats de tâtonnements encore plus ou moins vagues; mais cependant ces actions n'en sont pas moins positives et le principe scientifique de la physiologie générale ne saurait rester douteux ou incertain. La physiologie, comme toutes les sciences terrestres dont les phénomènes sont à notre portée, doit avec le temps devenir une science expérimentale active sur les phénomènes de la vie. » (P. 219.)

«... Quand les progrès de la physiologie générale auront montré à l'expérimentateur les éléments organiques spéciaux sur lesquels il agit, et lui auront appris à se rendre maître des conditions de leur activité, alors il aura acquis le pouvoir de modifier et de régler scientifiquement les phénomènes de la vie. Il étendra sa domination sur la nature vivante, comme le physicien et le chimiste ont acquis leur puissance sur les phénomènes de la nature inerte (1). »

(1) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès de la physiologie générale en France.*

LIVRE IV

DE LA GÉNÉRATION

CHAPITRE I

DE L'ORIGINE DES ÊTRES ORGANISÉS

Sans remonter jusqu'aux si séduisantes et si vraisemblables cosmogonies de Kant et de Laplace, il faut bien admettre avec la géologie contemporaine que la terre a été jadis à l'état de globe incandescent, que durant des cycles nombreux elle a été absolument inhabitable pour le monde organisé que nous connaissons. Force est donc bien de croire que les premiers êtres vivants se sont organisés spontanément aux dépens de la matière minérale. Les premiers habitants de la terre étaient, nous le savons, d'une structure extrêmement simple. Les monères de Hæckel, quelques types d'infusoires, les rhizopodes peut-être, tels sont les êtres organisés actuels qui nous rappellent le mieux ces primitifs ancêtres du monde organique. Mais la doctrine darwinienne, qui ressort avec une telle évidence de la paléontologie, de l'embryologie, de la classification bien hiérarchisée des organismes, réclame comme son complément indispensable la formation spontanée, sans germes ni parents, des premiers échantillons du monde vivant.

Dans le domaine scientifique, toute déduction ou induction logique et nécessaire devrait être admise sans conteste, quand bien même elle heurterait de vieilles

idées et ébranlerait de vieux dogmes. Il n'en est rien pourtant. Les mêmes préjugés religieux et métaphysiques que la doctrine de l'évolution organique a si fort inquiétés, s'effarouchent bien davantage encore de l'idée d'une génération spontanée quelconque. C'est pas à pas seulement que ces antiques théories cèdent le terrain aux données scientifiques. Tout d'abord, on niait que la matière organisée eût en elle-même la faculté de vivre. L'équilibre ne se maintenait, croyait-on, dans tout être vivant, que grâce à la perpétuelle intervention d'une entité, d'une archée, d'un principe vital, d'une âme, etc., guidant et régentant les phénomènes vitaux, comme un cocher conduit un char, suivant l'expression de Tertullien. Force a bien été pourtant de reconnaître qu'il n'y avait pas de dualisme métaphysique dans la plante et dans l'animal, mais que l'une et l'autre vivaient uniquement parce que tous deux réunissaient les conditions nécessaires et suffisantes à une incessante rénovation nutritive. La doctrine de l'évolution a eu même fortune. Il y a bien peu d'années encore, tous les naturalistes ou presque tous croyaient à la parfaite immutabilité des espèces organisées, et, comme chaque époque géologique a sa faune et sa flore spéciales, il fallait admettre avec Cuvier et l'on admettait en effet une série de créations successives, de changements à vue organiques. Au premier coup de sifflet de Dieu, irrévérencieusement comparé à un machiniste d'opéra, un implacable cataclysme anéantissait tout le monde vivant; à un second coup de sifflet créateur, une flore et une faune nouvelle surgissaient à la vie. Ainsi avaient dû se passer les choses à chaque époque géologique. Du trilobite au mammouth et à l'homme, chaque espèce avait dû se former ainsi par une cristallisation magique. Certes, c'était bien là une génération spontanée, de la plus étonnante espèce; pourtant elle ne choquait personne, parce

qu'elle était en accord plus ou moins tacite avec les croyances métaphysiques et religieuses. Mais peu à peu l'idée de miracle a été chassée de ce domaine comme de tant d'autres. Il a fallu confesser que les époques géologiques n'avaient pas été séparées par des abîmes, que les cataclysmes, quand il y en avait eu, n'avaient été que partiels, que les modifications et transformations du sol s'étaient produites peu à peu, lentement, par le patient travail des siècles accumulés. Mais cette nouvelle doctrine géologique était incompatible avec les destructions et les créations subites du monde organisé. Si l'habitat s'était modifié lentement, il était à croire que l'habitant avait fait de même. La grande doctrine de l'évolution organique créée par Lamarck, complétée par Darwin, est venue alors démontrer la mutabilité des espèces organisées et en faire la généalogie. Ce fut une vraie révolution, dont quantité de naturalistes n'ont pas encore pris leur parti; mais néanmoins le flot monte peu à peu. La doctrine de l'évolution est déjà quasi triomphante. Il ne reste plus guère aux récalcitrants d'autres ressources, que de démontrer son parfait accord avec les dogmes, qu'on ne veut pas encore abandonner. La chose est déjà en voie d'exécution. Les exégètes sont habiles, les textes sacrés complaisants; les théories métaphysiques ductiles, malléables et flexibles. Courage! Il faudrait vraiment être bien borné pour ne pas reconnaître dans le premier chapitre de la Genèse une exposition succincte de la théorie darwinienne.

Mais si la doctrine de l'évolution nous fait bien descendre d'échelon en échelon jusqu'aux êtres organisés les plus rudimentaires, elle ne va point au delà, et il faut bien admettre, au moins ici, l'intervention d'une génération spontanée. Cette conséquence révolte encore nombre de savants, qui acceptent déjà tout le reste. Il ne faut pas que la matière ait en elle-même le pouvoir de s'organiser

dans de certaines conditions données et pourtant beaucoup de ces rebelles ont cru jadis aux générations spontanées de mammouth, alors que la doctrine des créations successives était en vogue; mais aujourd'hui, plutôt que de se résigner à la cruelle extrémité d'admettre, même à titre de possibilité, la génération spontanée, ils préfèrent ressusciter la vieille théorie des germes errants. Les espaces interplanétaires, croient-ils, sont criblés de germes nés on ne sait comment, venant on ne sait d'où et attendant depuis on ne sait quand le passage d'une planète suffisamment mûre pour leur servir de réceptacle nourricier, de matrice.

De pareilles puérilités seraient sûrement bien plus difficiles à admettre que la formation spontanée de quelques types vivants fort simples au début du monde organique, quand bien même nombre d'observations et d'expériences ne plaideraient pas très-éloquemment en faveur de la génération spontanée, même à notre époque. Certains parasites végétaux se développent sous l'épiderme des plantes vivantes. D'où pourraient provenir les semences de ces entophytes, qui apparaissent même chez des végétaux dépourvus de stomates (1)? Des champignons microscopiques naissent et vivent dans les citrons. Le forestier Hartig en a trouvé dans les cavités du ligneux au-dessous de nombreuses couches annuelles saines. Marklin a vu le blanc d'un œuf de poule converti en *sporotrichum*. Tout récemment on a rencontré des vibrions dans le pus d'abcès clos. Dans son *Histoire des helminthes*, M. Dujardin parle du *rhabditis aceti*, qui habite exclusivement le vinaigre du vin et ne se rencontre ni dans le vin, ni dans le raisin. D'où provient-il donc et surtout où étaient ses germes, quand l'homme ne faisait ni vin ni vinaigre?

(1) F.-A. Pouchet, *Nouvelles Expériences sur la génération spontanée et sur la résistance vitale*, p. 117.

La cause de la génération spontanée, équivoque, hétérogénique n'a d'ailleurs jamais cessé d'avoir des partisans. Nul ne l'a défendue avec plus de force, de persévérance et de talent que F.-A. Pouchet, à qui nous voulons maintenant emprunter quelques arguments.

La plupart des macérations organiques abandonnées à elles-mêmes, à une température convenable se peuplent, au bout d'un temps variable, mais assez court, de proto-organismes végétaux et animaux. Suivant les adversaires de l'hétérogénie, ces myriades d'êtres nouveaux proviendraient de germes flottant dans l'air. Mais qui dit germe dit ovule, c'est-à-dire cellule d'un diamètre parfaitement appréciable au microscope, puisque l'ovule de certains microzoaires ciliés varie de $0^{mm},0028$ à $0^{mm},0420$ de diamètre.

Or si, à l'aide de l'aéroscope de Pouchet, on examine microscopiquement 1 décimètre cube d'air, en le faisant passer à travers un orifice d'un quart de millimètre de section, c'est-à-dire en l'étirant sur une longueur de 4000 mètres, on n'y trouve que fort exceptionnellement un œuf de microzoaire cilié ou une spore de mucédinée.

Si, à l'aide d'un moteur de la force de huit chevaux, on projette sur diverses macérations de plantes 6 millions de litres de cet air atmosphérique, soi-disant plein de germes, on voit que les macérations exposées à ce torrent d'ovules ne deviennent pas plus riches en infusoires que celles qui sont emprisonnées dans un seul décimètre cube d'air.

On obtient des générations spontanées, en se servant d'eau et d'air artificiels, même d'oxygène, au lieu d'air.

Quand on mêle ensemble deux liqueurs fermentescibles différentes, on trouve, dans le mélange, des êtres organisés différents de ceux que contiennent les liquides séparés.

En expérimentant simultanément avec de l'air calciné un corps chauffé à 200 degrés et de l'eau qui a subi l'ébullition, on obtient des proto-organismes animaux et végétaux. Or, aucun des corps reproducteurs ne résiste à l'eau bouillante. Mais l'expérience suivante est véritablement plus probante encore.

Une cuvette de cristal de 0m,30 de diamètre est lavée avec de l'acide sulfurique et remplie d'eau distillée bouillante. Puis on y plonge 10 grammes de filaments de lins chauffés à 150 degrés pendant deux heures; on la recouvre ensuite d'une cloche et on la place au centre d'une autre grande cuvette de 0m,50 de diamètre remplie d'eau distillée. On la maintient à une température de 28 degrés, et, au bout de quatre jours, la macération est encombrée de paramécies, tandis qu'on ne trouve pas un seul de ces animaux, pas un seul de leurs œufs dans la grande cuvette (1).

Mais pourquoi les soi-disant germes flottants persistent-ils si obstinément à être invisibles ? En effet, la micrographie atmosphérique ne trouve dans l'air que des grains de fécule de blé ou de très-petites parcelles de silex. Les ovules, les spores sont si rares, qu'habituellement on n'en rencontre pas un seul dans 1 décimètre cube d'air.

Les germes aériens étant si rares, ne pourraient peupler les infusions que lentement. Quelques ovules y tomberaient d'abord, y évolueraient et donneraient naissance à des organismes qui se multiplieraient peu à peu. Or, dans un liquide fermentescible, on voit d'abord se former une très-mince pellicule muqueuse à la surface. Puis tout à coup apparaissent, dans cette pellicule, quantité de petites lignes pâles, immobiles, rangées côte à côte dans un certain désordre. Ces lignes ont la forme et le diamètre des

(1) F.-A. Pouchet, *loc. cit.*, p. 122.

bactériums et en effet, au bout de quelques heures, on les voit s'animer et devenir des *bactériums* vivants, se mouvant rapidement en ligne droite.

Gérard avait noté, lors de l'apparition des proto-organismes dans les macérations, un certain ordre évolutif. Dans la macération du foin, on voit, le second jour, des *bactérium termo* simples, dont les articles augmentent peu à peu. Puis viennent des *monades* et, au bout de quinze jours, on trouve des *trichodes*, des *colpodes*, des *protées*, qui ferment la série (1).

F.-A. Pouchet a aussi constaté cette évolution et il en a tiré toute une théorie (2). Suivant lui, il apparaît tout d'abord dans les macérations une population éphémère de vibrions et de monades. Ces proto-organismes meurent. Leurs débris et leurs cadavres montent à la surface, s'y dissocient, s'y dissolvent plus ou moins et tous ces détritus forment une sorte de membrane, qui s'organise à nouveau en engendrant des ovules d'infusoires supérieurs, de microzoaires à cils vibratiles. En certains points de cette pellicule, que Pouchet appelle *membrane proligère*, on voit des granulations s'accumuler, s'amasser en sortes de nébuleuses sphéroïdales. Puis cette nébuleuse devient une vraie cellule ovulaire, s'entourant d'une membrane translucide, d'une zone claire. Enfin cet ovule évolue. On y observe la gyration du contenu ou vitellus, la formation de l'embryon, et, le cinquième jour, il en sort une ramécie.

La même macération donne ou ne donne pas naissance à des microzoaires ciliés, suivant que sa pellicule proligère est plus ou moins épaisse.

Si l'on place la moitié d'un liquide donné dans un vase à surface resserrée et l'autre moitié dans un vase

(1) Gérard, *Dictionnaire d'histoire naturelle*, art. GÉNÉRATION.
(2) F.-A. Pouchet, *loc. cit.*, p. 110.

à large surface, la pellicule proligère du vase étroit est beaucoup plus épaisse que celle du vase large ; car, dans l'un et l'autre, il s'est produit une génération équivalente de vibrions et de monades, mais, dans le vase large, les résidus de cette génération ont dû s'étaler sur une plus large surface ; ils n'ont pu, pour cette raison, former une membrane proligère assez compacte et il ne s'y crée aucun infusoire cilié.

Certes, voilà des faits bien éloquents. Nous en citerons encore un dernier. On versa dans une cuvette de porcelaine à fond plat de la colle de farine bouillante, d'une épaisseur de 1 centimètre environ. Puis, quand cette colle commença à se figer, on écrivit sur sa surface, avec un pinceau imbibé d'une forte macération de poudre de noix de galle, préalablement examinée au microscope et filtrée, ces deux mots : *generatio spontanea.* On recouvrit ensuite la cuvette avec une lame de verre et on l'abandonna à elle-même pendant quatre jours. La température fut de 24 degrés en moyenne et la pression de 0,76 pendant ce laps de temps, au bout duquel on vit les mots *generatio spontanea* se dessiner en noir. Ces caractères étaient formés par des touffes serrées d'un champignon microscopique *absolument inconnu*, à tigelles simples, cylindriques, non articulées, à capitules d'un beau noir. M. G. Pennetier propose d'appeler cette nouvelle espèce organique *aspergillus primigenius* (1). On pourra trouver bien d'autres faits topiques dans les publications de F.-A. Pouchet, et de ses émules MM. G. Pennetier et Mantegazza, Joly et Musset, auxquelles nous sommes bien obligé de renvoyer. Les courts extraits que nous venons de citer suffiront bien à montrer que la doctrine de la génération spontanée ne mérite pas le dédain banal avec lequel on l'accueille.

(1) G. Pennetier, *Origines de la vie.*

Ses partisans s'appuient sur des arguments sérieux tirés de l'observation et de l'expérience. Il ne suffit évidemment pas de leur opposer des dénégations dogmatiques ou quelques expériences chimiques contestables.

Les faits observés par F.-A. Pouchet rendent d'ailleurs la génération spontanée bien plus intelligible. En effet, la naissance des infusoires, à tout le moins des plus complexes, semble être précédée de la formation d'une sorte de blastème vivant, au sein duquel les ovules naissent exactement comme ils naissent, par genèse spontanée, dans les blastèmes des animaux et des plantes.

Quelle différence radicale y a-t-il entre la formation des ovules dans la pellicule proligère de F.-A. Pouchet et la formation d'éléments cellulaires sous le microscope dans du sérum sucré? C'est un des adversaires de la génération spontanée, M. Cl. Bernard, qui affirme avoir observé ce dernier fait de véritable hétérogénie (1). Il faut le laisser parler : « J'ai observé que, dans le sérum sucré, il se développe, sous l'influence d'une douce température, des productions amyloïdes tout à fait analogues aux globules blancs... Dans une goutte de sérum sucré parfaitement transparente et où l'on ne voit rien au microscope, il se forme bientôt des leucocytes ou des globules de levûre de bière. »

(1) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès de la physiologie*, etc., p. 210, 217.

CHAPITRE II.

DE LA GÉNÉRATION DANS LES DEUX RÈGNES

L'accroissement n'est qu'un excès de nutrition, et la génération n'est qu'un excès d'accroissement. Accroissement et génération ont pour raison d'être une surabondance de matériaux nutritifs. Cette surabondance a pour effet, d'abord, de porter les éléments anatomiques à leur volume maximum, puis de provoquer la formation d'éléments nouveaux. Tant que l'individu organisé n'a pas atteint tout le développement compatible avec le plan de son être, les éléments nouveau-nés restent agrégés aux éléments préexistants; quand la limite d'accroissement est atteinte, quand il n'y a plus de place dans l'individu organisé pour une nouvelle adjonction d'éléments histologiques, les nouveaux venus se détachent de leur souche organique et constituent des individus indépendants, qui évoluent à leur tour.

La génération est si bien un accroissement continué, que ses procédés sont ou identiques ou analogues à ceux de l'accroissement. En définitive, dans l'accroissement, comme dans la génération, ces procédés se ramènent à deux, le procédé de la segmentation et celui de la genèse, qui, d'ailleurs, peuvent s'entr'aider et combiner leur action.

La division, scissiparité, fissiparité, etc., s'observe chez le plus grand nombre des représentants les plus inférieurs des deux règnes. C'est habituellement la division en deux parties qui est alors en usage, la bipartition, tantôt longitudinale, comme chez les vorticelles, tantôt transversale, comme chez les hydres, les acalèphes (fig. 67). C'est par

bipartition que se produisent les polypiers et que se multiplient les algues et les champignons les plus humbles.



Fig. 67.

Reproduction par segmentation d'un organisme élémentaire, d'une monère : A, monère entière (protamœba); B, la même monère divisée en deux moitiés par un sillon médian; C, les deux moitiés se sont séparées et constituent maintenant des individus indépendants.

A un degré d'organisation plus élevé, ce n'est plus l'organisme tout entier qui se divise. La fonction est localisée. Il se forme, souvent par genèse, une cellule spéciale, l'*ovule*, chargée de reproduire un individu organique nouveau. Cette cellule commence toujours son travail d'édification organique par une série de bipartitions, par une segmentation, d'où résultent déjà un grand nombre de cellules nouvelles, de briques, qui sont les premiers matériaux du futur édifice. Mais, d'ordinaire, pour être apte à parcourir son cycle évolutif tout entier, la cellule ovulaire a besoin de recevoir une impulsion spéciale. Elle doit se fondre avec un autre élément anatomique, spécial aussi. L'élément qui se segmente et se multiplie est dit *femelle*. Celui qui lui imprime l'impulsion évolutive est dit *élément mâle*, et le procédé d'union est des plus simples, c'est le procédé de conjugaison, dont nous avons précédemment donné un exemple. Les deux cellules arrivent au contact; l'élément femelle absorbe l'élément mâle, *s'en imprègne*, et à partir de ce moment il est *fécondé* et poursuit le cours de son travail formateur. Dans

les deux règnes, partout où il y a sexualité et fécondation, quelle que soit la complication des appareils organiques accessoires, le phénomène fondamental se ramène toujours et partout à la conjugaison de deux cellules avec absorption de l'une par l'autre. Les noms changent ; mais le phénomène est essentiellement le même, qu'il s'agisse de l'oosphère et des anthérozoïdes des algues, du sac embryonnaire et du pollen des phanérogames, de l'ovule et des spermatozoaires des animaux. L'oosphère, le sac embryonnaire, l'ovule sont de simples variétés de l'élément femelle, comme les anthérozoïdes, les cellules polliniques, les spermatozoaires sont des variétés de l'élément mâle.

Entre les organismes, chez qui la reproduction s'effectue par simple bipartition, et ceux chez qui elle n'est possible qu'après la fusion d'une cellule femelle et d'une cellule mâle, c'est-à-dire après une fécondation, on peut placer les cas de parthénogenèse, dont l'exemple le plus célèbre est la parthénogenèse des pucerons. Ici l'intervention de la cellule mâle n'est nécessaire que de loin en loin. S'est-elle produite une fois, cela suffit à la formation d'une série d'ovules, auxquels elle ne sera plus indispensable, et la femelle pourra ensuite engendrer sans le concours du mâle toute une lignée de petits. Mais peu à peu le champ de l'évolution se raccourcira pour chaque nouvel ovule; les produits seront de plus en plus imparfaits, de plus en plus incomplets; enfin la force évolutive des ovules s'éteindra, s'épuisera et leur revivification par une nouvelle imprégnation sexuelle deviendra la condition même de la génération (1).

Chez la plupart des plantes, chez un grand nombre d'animaux inférieurs bisexués, les appareils mâles et femelles sont réunis sur le même individu. Alors l'auto-

(1) Voir Cl. Bernard, *Des phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (*Revue scientifique*, 1874).

fécondation est souvent possible, parfois aussi elle est impossible. Mais, même dans le premier cas, la diversité d'origine des éléments sexuels mâles et femelles est une condition le plus souvent favorable, parfois indispensable à la fécondation. Les observations et les expériences de Sprengel et de Darwin ont démontré que la plupart des plantes hermaphrodites ont besoin, pour fructifier, d'une fécondation croisée. « La Nature, selon l'expression de Darwin, nous dit de la manière la plus évidente qu'elle a horreur d'une perpétuelle autofécondation. »

L'ovule femelle peut être fécondé à divers moments de son évolution, à divers degrés de maturité, et il est vraisemblable, que l'époque de la fécondation a une influence sur la future direction de cette évolution, qui n'a rien de fatal. Nous verrons en effet, plus loin, que des causes perturbatrices, même fort légères, agissant sur l'œuf fécondé, peuvent faire varier dans une très-large mesure le développement embryonnaire. Que la production même de l'un ou de l'autre sexe puisse être liée au degré de maturité de l'ovule fécondé, il n'y a là, *à priori*, rien d'inadmissible.

Girou de Buzareingues avait constaté sur des pieds femelles de plantes dioïques phanérogames à inflorescence en grappe, que les cellules mâles ou polliniques, alors qu'elles pleuvaient sur la grappe entière et en fécondaient toutes les fleurs, produisaient des résultats très-divers suivant le degré de maturité des ovules. Au bas de la grappe, où se trouvent les fleurs les plus avancées, la fructification donnait des graines mâles, tandis que les fleurs moins mûres, celles du haut de la grappe, produisaient des graines femelles.

Partant de cette idée, et supposant que la maturité complète d'un ovule femelle pouvait être très-favorable à la production du sexe mâle et inversement, M. Thury, de

Genève (1863), fit saillir des vaches, tantôt au commencement, tantôt à la fin de la période du rut, et il obtint dans le premier cas des veaux femelles; dans le second, des veaux mâles. L'expérience fut recommencée par un agronome Suisse, M. Cornay, qui, vingt-neuf fois sur vingt-neuf cas, réussit ainsi à produire à volonté tel ou tel sexe (1). Ce sont là des faits positifs, que n'infirment pas suffisamment des observations contradictoires, susceptibles presque toutes d'interprétations différentes, et la question mérite à coup sûr d'être reprise et sérieusement étudiée.

Dans le fait précédent, une observation faite sur le développement ovulaire, dans le règne végétal, a pu être étendue et appliquée au règne animal. C'est qu'en effet, si l'on remonte au phénomène primordial de la génération sexuée, on le trouve à peu près identique dans les deux règnes. L'ovule animal et l'ovule végétal sont rigoureusement comparables.

L'ovule animal est une cellule, qui, tout d'abord, ne se distingue de beaucoup d'autres éléments histologiques par aucun caractère observable. Cette cellule se compose essentiellement d'une paroi enveloppante, d'un contenu protoplasmique, d'un noyau. On a à tort donné à ces diverses parties de la cellule ovulaire des noms spéciaux, tendant à faire croire qu'elles représentent des choses sans analogie, tandis qu'en réalité les différences sont purement virtuelles. La faculté de reproduction, de génération, considérée d'une manière générale, n'est nullement spéciale à la cellule ovulaire. Elle est seulement plus développée, à portée plus longue dans l'ovule que dans les autres cellules.

Quoi qu'il en soit, il est indispensable de connaître les noms donnés par les embryologistes aux diverses parties de la cellule ovulaire. La membrane enveloppante, qui est

(1) Cl. Bernard, *loc. cit.*

hyaline et transparente, et dont la projection a, sous le microscope, l'apparence d'un anneau, a été appelée *zone transparente*, *zona pellucida*. Le contenu ou protoplasme cellulaire de cette enveloppe, substance plus ou moins visqueuse et grenue, a été appelé *vitellus*. Le protoplasme ovulaire ou vitellus renferme un noyau, qui se creuse d'une cavité et porte alors les noms de *vésicule germinative*, *vésicule de Purkinje*. Enfin ce noyau contient un nucléole, qui est la *tache germinative*.

Chez les plus parfaits des végétaux sexués, chez les phanérogames, ce qu'on appelle habituellement *ovule* équivaut à peu près à l'ovaire des animaux. Dans le tissu cellulaire à éléments polyédriques, que contient cet ovaire et qu'on appelle *nucelle*, se trouve le véritable ovule, très-analogue à l'ovule animal, c'est ce que l'on a appelé le *sac embryonnaire*. C'est une cellule ovale, dont la paroi représente la membrane vitelline de l'ovule animal. Son contenu est un protoplasme muqueux, granuleux et grisâtre, équivalant manifestement au vitellus. Enfin le noyau, ou la *vésicule embryonnaire* des botanistes, est comparable à la vésicule germinative. On y distingue en outre un nucléole, qui semble bien répondre à la tache germinative. Les différences entre le sac embryonnaire des végétaux et l'ovule des animaux portent seulement sur la dimension, sur le nombre des noyaux. Le sac embryonnaire a, en effet, des dimensions relativement considérables, et il contient parfois deux ou trois noyaux ou cellules embryonnaires.

A propos de la génération, comme à propos de tous les grands faits biologiques, on voit donc encore se révéler l'unité de la vie. Nous aurons à signaler bien d'autres analogies, dans les pages qui vont suivre et qui seront consacrées à la description des principaux phénomènes de la génération dans les deux règnes.

CHAPITRE III.

DE LA GÉNÉRATION VÉGÉTALE.

La génération asexuée s'observe chez certaines algues, notamment chez les conferves. Elle se fait par endogenèse.

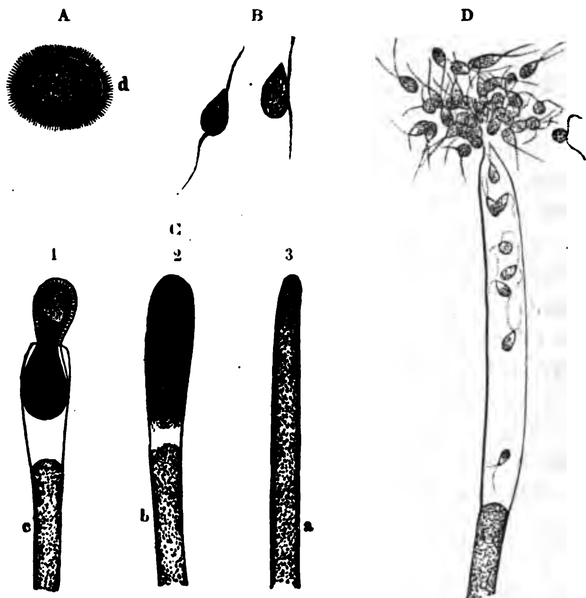


Fig. 68.

A, zoospore couverte de cils vibratiles.
B, zoospores munies seulement de deux cils vibratiles.
C, évolution d'une zoospore de vaucheria : *a,* filament avant la fructification *b,* à l'extrémité du filament s'est formé une accumulation de protoplasme, d'où proviendra la zoospore ; *c,* la zoospore, presque achevée et déjà munie de sa membrane d'enveloppe, fait saillie hors du filament.
D. Nombreux zoospores mis en liberté.

Le protoplasme de certaines cellules se contracte d'abord, en s'écartant de la paroi, et d'ordinaire se divise ensuite,

se segmente en plusieurs cellules nouvelles. Puis la membrane enveloppante de la cellule mère s'ouvre et se résorbe. Les cellules filles s'échappent et nagent dans l'eau en tournoyant, grâce aux mouvements de deux ou de plusieurs cils vibratiles. Ces *zoospores*, comme on les appelle alors, finissent par se fixer et germer (fig. 68).

D'autres algues sont douées de la génération sexuée, soit dans son mode le plus simple, qui est la conjugaison,

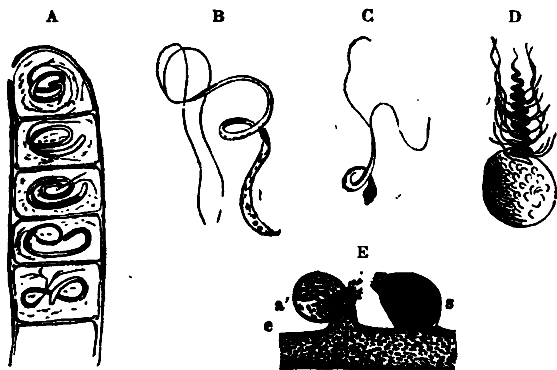


Fig. 69.

A, extrémité d'un filament anthéridien formé de cellules juxtaposées et contenant chacune un anthérozoïde.

B et C, anthérozoïdes à l'état de liberté.

D, anthérozoïde d'une fougère aquatique.

E, fragment d'une anthérozoïde de *vaucheria* contournée en spirale (*a'*). De l'extrémité de cette anthéridie sortent des anthérozoïdes ayant la forme de courtes baguettes. A côté de l'anthéridie se trouve l'oogonie (*s*) ou cavité sacciforme pleine de corpuscules ovulaires. En un point de l'oogonie situé vis-à-vis de l'extrémité de l'anthéridie, il se forme un orifice par où pénètrent les anthérozoïdes. Puis ces anthérozoïdes imprègnent les ovules, qui évoluent, se recouvrent d'une membrane d'enveloppe ; en un mot, deviennent des oospores.

soit dans son mode complet avec cellule mâle, cellule femelle et fécondation.

Dans le premier cas (*ulothrix, chlamydococcus, pandorina*), deux cellules analogues aux zoospores en mou-

vement se rencontrent et se fondent l'une dans l'autre. Quand il y a sexualité, les phénomènes offrent encore une grande simplicité. L'élément femelle est représenté par une cellule, dont le protoplasme se contracte en se séparant de la paroi cellulaire. Cette petite masse protoplasmique ainsi modifiée, et prête à évoluer, est appelée *oosphère*, et son enveloppe est dite *oogone*. Dans d'autres cellules, le protoplasme se transforme en éléments mobiles très-analogues aux spermatozoaires des animaux. Ces éléments fécondateurs sont dénommés *anthérozoïdes*, et la cellule, qui les contient et les a engendrés, est appelée *anthéridie* (fig. 69). Une fois mis en liberté, les anthérozoïdes pénètrent dans l'*oogone* par une ouverture spéciale et se confondent avec la masse de l'oosphère, qu'ils imprègnent (1).

Si l'on fait abstraction du luxe d'organes, d'appareils, qui, chez les animaux les plus élevés, sont les moyens de la génération, une même description de la fécondation pourra servir également pour les algues sexuées et pour l'homme. Tant est grande, au fond, la simplicité des phénomènes biologiques de premier ordre.

Quand l'oosphère a absorbé quelques anthérozoaires, généralement d'un volume bien inférieur au sien, elle est devenue capable de poursuivre le cours de son évolution; elle est fécondée. On la voit alors s'envelopper d'une membrane solide, se fixer et germer. Elle est, en un mot, devenue une oospore.

Les modes de la reproduction des champignons sont très-variés, quant aux appareils accessoires; mais, au fond, les procédés de la génération sont tout à fait comparables à ceux dont nous venons de parler. Tantôt les corps reproducteurs ou spores se forment sans fécondation ; tantôt la fécondation est nécessaire. Ces spores sont

(1) Sachs, *Traité de botanique*, p. 285.

parfois immobiles, parfois mobiles et munies de cils vibratiles, par conséquent en tout semblables aux zoospores des algues. Mais, en définitive, les spores se forment aux dépens du protoplasme de certaines cellules, et si elles sont multiples, elles résultent d'une bipartition répétée de ce protoplasme. Qu'importe après cela qu'elles se produisent ou non sur les filaments d'un mycelium, qu'elles soient rassemblées ou non dans la cavité d'un réceptacle ou *sporange* de telle forme ou de telle autre !

Le système de reproduction par oosphères et anthérozoïdes mobiles existe encore chez les characées, les muscinées, les fougères. La forme de l'anthérozoïde varie, mais le plus habituellement c'est un filament plus ou moins allongé, mobile, muni ou non de cils vibratiles. Toujours l'anthérozoïde se forme aux dépens du protoplasme de cellules spéciales ou anthéridies, dont la paroi se déchire ou se résorbe. Avant la déhiscence ou la disparition de cette paroi, chaque anthérozoïde, habituellement seul dans la cellule mère, est enroulé deux ou trois fois sur lui-même (fig. 69). Quant aux appareils renfermant les corpuscules femelles, ils varient beaucoup de forme et ont reçu pour cette raison des noms divers, mais le plus souvent les anthérozoïdes ne pénètrent dans les réceptacles des oosphères (archégones) qu'à travers une substance molle, mucilagineuse. Une fois en contact avec l'oosphère ou l'oospore, l'anthérozoïde se confond avec elle et, comme il arrive d'ordinaire après toute fécondation, l'oospore se segmente par bipartition et le développement embryonnaire suit son cours (1).

Les phénomènes de la reproduction et de la fécondation sont encore sensiblement les mêmes chez les phanérogames. Nous avons déjà parlé du sac embryonnaire, des

(1) J. Sachs, *loc. cit.*, p. 391, 318, 401, 439.

cellules embryonnaires qu'il contient. L'agent fécondant n'est plus ici un anthérozoïde, c'est la substance granulée visqueuse (*favilla*) contenue dans les grains de pollen. Ces grains sont de forme très-variée, mais ont tous une double membrane d'enveloppe (endhyménine, exhyménine). On sait qu'à la suite du contact avec l'humidité du stigmate, le grain de pollen se gonfle par endosmose, que sa membrane interne forme une hernie remplie de favilla (boyau pollinique) et pénètre ainsi jusqu'aux cellules embryonnaires. La fécondation se fait par le mélange intime de la *favilla* et du contenu de la cellule embryonnaire. La cellule fécondée grandit, se développe et forme par division une masse de cellules sphériques, d'où proviennent les cotylédons et l'embryon.

CHAPITRE IV.

DE LA GÉNÉRATION ANIMALE.

Les deux règnes vivants se sont probablement confondus à l'origine, comme les naturalistes, partisans de l'évolution, s'efforcent de le démontrer à force de patientes recherches et de rapprochements ingénieux. A coup sûr, il existe encore nombre de traits d'union entre les deux grandes divisions du monde organique, et il n'est pas de caractéristique différentielle, constante et applicable à toutes les espèces animales et végétales. Il faut donc s'attendre à rencontrer une grande analogie entre les phénomènes principaux et même les procédés généraux de la reproduction dans l'un et l'autre règne.

Aux plus infimes degrés de la hiérarchie animale, chez les êtres peu ou point différenciés, par exemple, chez les polypes, le centre morphologique de l'être tout entier semble exister dans chacune des cellules, et une portion quelconque du corps peut reproduire l'animal tout entier. C'est chez les espèces ainsi douées d'un énorme pouvoir de réparation, de régénération, que s'observe surtout la reproduction fissipare. L'individu parvenu à son maximum de croissance déborde en quelque sorte au-delà de ses limites naturelles; il se dédouble et forme par simple division un individu nouveau (fig. 70). Ce procédé de multiplication acquiert parfois une extrême énergie, s'il est vrai, comme l'affirme M. Balbiani, qu'en quarante-deux jours une paramécie puisse produire par fissiparité 1 384 116 individus nouveaux, c'est-à-dire qu'un animal unique, long de $0^{mm},2$, s'accroisse de 277 mètres. On voit alors le corps de l'infusoire s'allonger, puis s'étrangler vers son milieu

et former ainsi un couple conduit par l'individu antérieur (1). Enfin, la séparation s'effectue et chacune des

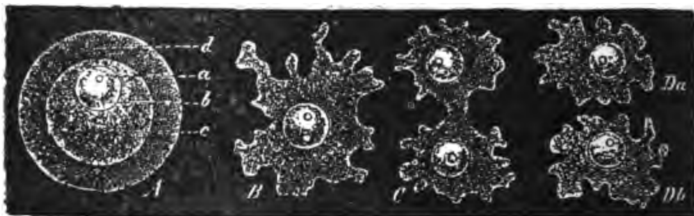


Fig. 70.

Amœba sphærococcus aux divers degrés de son évolution. A, amibe enkystée. Masse protoplasmique (*c*) contenant noyau (*b*) et nucléole (*a*) membrane enveloppante (*d*). B, amibe sortie de la membrane enveloppante ; C, amibe commençant à se diviser ; D*a* et D*b*, amibe totalement divisée en deux amibes indépendantes.

moitiés se complète. Les naïdes se divisent de même transversalement en deux parties, dont l'antérieure se refait une tête et la postérieure une queue.

C'est par germination ou gemmiparité, c'est-à-dire par une variété de fissiparité, que se forment les agrégations, les colonies des zoanthaires. Parfois le bourgeon se détache, jouant le rôle d'une spore végétale ou d'une bulbille, et va former un individu indépendant.

Beaucoup de monadaires semblent se reproduire uniquement par gemmiparité. Ce mode de génération existe encore tantôt seul, tantôt associé à la sexualité, tantôt alternant avec cette dernière chez nombre d'animaux inférieurs. Sur les hydres ou polypes d'eau douce, on voit facilement de jeunes hydres bourgeonner sur l'hydre mère. Leur corps communique d'abord avec la cavité de celui de la mère et se nourrit aux dépens de celle-ci, jusqu'au moment où le nouvel individu est à son tour muni de tentacules préhensiles et capables de saisir sa proie.

La gemmiparité interne, l'*endogenèse*, s'observe chez les

(1) Dugès, *Physiologie comparée*, t. I, p. 213.

volvoces, les acéphalocystes, etc. La cavité de l'animal se remplit alors d'animaux vésiculaires semblables à la vésicule mère. Certains de ces nouveaux venus, les plus développés, renferment eux-mêmes d'autres individus, qui à leur tour en renferment d'autres ; de telle sorte que trois générations sont ainsi emboîtées l'une dans l'autre.

D'après M. Balbiani, beaucoup d'espèces fissipares ou gemmipares sont en même temps capables de sexualité, mais d'une sexualité alternante (1). Chez la paramécie verte (*Paramecium bursaria*), les cellules sexuées préexisteraient ; elles grossiraient à un moment donné. Dans la plus grosse de ces cellules, il se formerait des ovules ayant noyau et nucléole. Dans la plus petite, la substance intracellulaire se diviserait en petites baguettes, qui seraient des spermatozoaires chargés de la fécondation.

Cette sexualité hermaphrodite entrerait en jeu à une époque déterminée. Le procédé scissipare s'épuiserait peu à peu, il finirait par ne plus produire que des individus chétifs, imparfaits et aboutirait à la stérilité, si la sexualité ne venait redonner à la propriété reproductive une vigueur nouvelle.

Le mode le plus infime de reproduction sexuelle, la conjugaison, s'observe chez les colpodes. Deux individus libres s'unissent, s'enkystent et se fondent en une masse commune. Puis cette masse commune reproduit par fractionnement des individus nouveaux.

Le mode d'accouplement de la paramécie verte rappelle encore de loin la conjugaison. Dans sa phase sexuelle, chaque paramécie est pourvue de corps reproducteurs mâles et femelles, comme nous l'avons vu tout à l'heure, mais néanmoins, ce qui d'ailleurs est fréquent chez les hermaphrodites, la fécondation est mutuelle. Deux indi-

(1) Balbiani, *Sur l'existence d'une génération sexuelle chez les infusoires* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVI).

vidus se juxtaposent bouche à bouche pendant une durée de plusieurs jours, et ils échangent leurs spermatozoïdes. C'est un exemple de l'horreur que la Nature éprouve pour l'autofécondation, selon l'expression de Darwin. Beaucoup d'invertébrés hermaphrodites sont pourvus d'appareils génitaux des deux sexes, mais ces appareils sont disposés de telle façon, que l'autofécondation est presque impossible.

Parfois cependant, notamment chez les mollusques bivalves, pour la plupart fixes et immuables, il y a hermaphrodisme autofécondateur.

En résumé, un fait général ressort de l'examen de la génération chez les animaux inférieurs, c'est la grande diversité des procédés et aussi une sorte de confusion dans leur emploi. Les espèces sont encore mal différenciées, il y a dans le plan de leur organisme une sorte d'indécision. La Nature, pour employer le langage de Darwin et de beaucoup d'autres, semble hésiter, tâtonner; elle n'a pas encore trouvé la voie la meilleure et les essaye toutes simultanément. Mais, dès qu'il y a sexualité bien accusée, formation d'une cellule mâle et d'une cellule femelle, les actes primaires de la reproduction et de la fécondation revêtent un caractère presque uniforme.

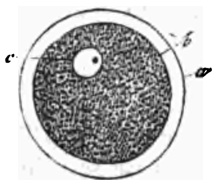


Fig. 71.
Ovule de la femme grossi de 250 fois : *a*, zone pellucide; *b*, vitellus; *c*, vésicule germinative renfermant la tache germinative.

Chez tous les animaux, la cellule femelle, l'ovule, est à très-peu près identique. Tout d'abord, l'ovule ne diffère en rien d'une cellule ordinaire, si l'on ne se laisse pas égarer par les noms spéciaux inventés par les embryologistes. L'ovule complet se compose en effet d'une membrane enveloppante, la *membrane vitelline*, ou *zona pellucida,* d'un contenu ou protoplasme, le *vitellus,*

d'un noyau ou *vésicule germinative*, d'un nucléole ou *tache germinative* (fig. 71).

Selon M. van Beneden, il y aurait dans l'ovule une partie accessoire et une partie essentielle. Cette dernière, qu'il appelle *cellule-œuf*, aurait dans tout le règne animal une évolution identique et serait représentée uniquement par le noyau de l'ovule, par la *vésicule germinative* et une très-petite partie du vitellus que l'entoure (1). Il est certain, dans tous les cas, que la vésicule germinative est la partie la moins variable de l'œuf. Elle peut être double, et alors il semble en résulter constamment la gémelliparité. C'est du moins ce qui arrive chez certaines espèces, notamment chez le *vortex balticus*, où cette duplicité de la vésicule germinative est la règle (2).

Le contenu cellulaire ou vitellus est aussi appelé *jaune*, très-improprement d'ailleurs, puisque sa couleur est fort variable. Il est, en effet, suivant les espèces, blanc, jaune, rouge, brun, vert, violet, etc., et se compose ordinairement d'un liquide plus ou moins visqueux, tenant en suspension des granules et souvent des globules graisseux.

La membrane vitelline ou enveloppante est aussi fort diverse; souvent c'est une membrane transparente, anhyste; parfois c'est une simple couche albumineuse. Chez certaines espèces, elle est couverte de dessins, de creux et de reliefs. D'autres fois, comme il arrive dans l'ovule des poissons, elle est percée de trous, de micropyles, qui facilitent l'imprégnation de l'ovule par les spermatozoaires (3).

Il faut donc considérer le noyau de l'ovule comme un germe englobé dans une masse purement nutritive, qui est le vitellus.

L'ovule des animaux vivipares diffère très-peu, quant

(1) Cl. Bernard, *loc. cit.*
(2) Leydig, *Traité d'histologie*, p. 620.
(3) Leydig, *loc. cit.*, p. 616, 617.

au volume, quelle que soit la taille de l'animal. Celui des ovipares est beaucoup plus gros, parfois même très-volumineux ; mais l'accroissement porte sur la portion nutritive de l'ovule, sur le vitellus, qui, chez les oiseaux, acquiert un énorme développement.

Ce qui distingue l'ovule de toute autre cellule, même avant la fécondation, c'est la rapidité de son évolution. Il est toute une série de phases, de modifications, par lesquelles il passe dans un très-court laps de temps, sans même avoir subi l'impulsion fécondante. Bientôt, dans toute la série animale, l'ovule perd sa différenciation première, le noyau et le nucléole (vésicule et tache germinative) disparaissent et semblent se fondre dans le vitellus. L'ovule n'est plus alors qu'une cellule imparfaite, composée d'une membrane enveloppante et d'une masse de granulations.

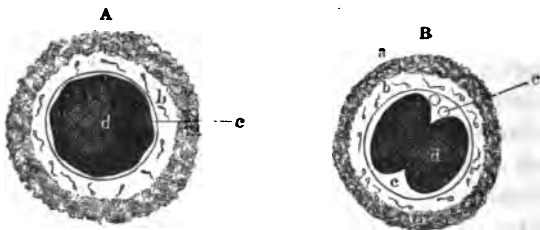


Fig. 72.

A, œuf de chienne, immédiatement avant le commencement de la segmentation. La contraction a donné au vitellus une forme polyédrique. — *a,* cellules épithéliales ; *b,* zone pellucide sur laquelle on voit des spermatozoaires ; *c,* espace entre le vitellus contracté (*d*) et la membrane vitelline ou zone pellucide.

B, œuf de chienne, quelques heures plus tard. Les cellules épithéliales de la périphérie sont encore diminuées ; le vitellus séparé en deux segments ou sphères de fractionnement. On voit entre ces deux moitiés les vésicules claires (*c*) dites *de direction*. Les lettres comme précédemment.

En même temps le vitellus se rétracte vers le centre de la cellule et une zone transparente sépare alors la membrane cellulaire du contenu granuleux (fig. 72 A). Un autre

phénomène, dont l'utilité est encore mal connue, se produit ensuite. Il peut aussi avoir lieu indépendamment de la fécondation. C'est la sortie des *globules polaires*. Suivant M. Ch. Robin, ces globules se formeraient par une sorte de germination vitelline. On voit apparaître successivement à la surface du vitellus deux à trois saillies, qui prennent la forme hémisphérique et se séparent par division de la masse qui les a engendrées, en restant interposées entre la membrane cellulaire et le vitellus. Ce sont les *globules polaires* (fig. 73, Ae).

Tous les phénomènes évolutifs que nous venons de signaler peuvent s'accomplir avant la fécondation ; ils peuvent aussi lui être postérieurs. Mais, chez certaines espèces, l'évolution ovulaire spontanée va bien plus loin, puisque dans les cas de parthénogenèse, le développement tout entier de l'embryon s'effectue sans le secours de la fécondation. Cette génération ovulaire, sans mâles, cette parthénogenèse, que les docteurs en théologie catholique invoqueront un jour à l'appui d'un de leurs mystères les plus importants et les plus invraisemblables, n'est pas très-rare dans le règne animal. On en peut citer plusieurs exemples, dont le plus célèbre est la parthénogenèse des pucerons, signalée d'abord par Bonnet.

Mais, le plus souvent, l'évolution spontanée de l'ovule ne va pas plus loin que la sortie des globules polaires. Si alors la fécondation n'intervient pas, l'ovule se flétrit et se dissout. Dans le cas contraire, il subit l'important phénomène du fractionnement, c'est-à-dire une série de divisions fissipares, de bipartitions. La fissiparité a été certainement le premier procédé de reproduction des organismes rudimentaires, et elle existe encore à l'état de phase transitoire, de tradition organique, dans la génération sexuée. Le phénomène est des plus simples. Après la disparition de la vésicule, la rétraction du vitellus, la sor-

tie des globules polaires, le vitellus s'étrangle en méridien et se partage ainsi en deux masses granuleuses, dont chacune se divise à son tour en deux moitiés, et ainsi de suite jusqu'au moment où la masse vitelline tout entière est transformée en un amas de globules sphériques, granuleux, d'abord dépourvus de membranes enveloppantes et de noyaux, puis se complétant peu à peu. Ce sont alors les *cellules vitellines*, dont l'agglomération donne à la surface ovulaire l'apparence d'une mûre (fig. 72 et 73).

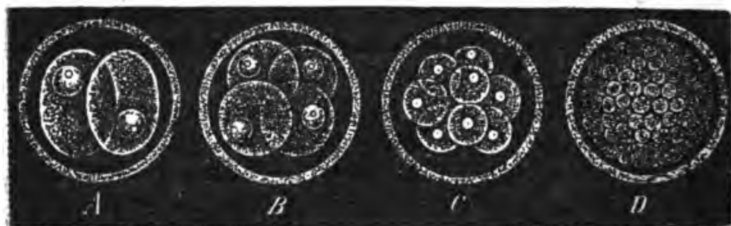


Fig. 73.

Premier stade de l'évolution d'un mammifère, « segmentation de l'œuf », multiplication des cellules par des scissions réitérées : A, l'œuf se divise par un premier sillon en deux cellules ; B, les deux cellules se divisent en quatre cellules ; C, les dernières se divisent en huit cellules ; D, la segmentation, indéfiniment réitérée, a produit un amas sphérique de nombreuses cellules.

Peu après leur apparition, les cellules vitellines se déplacent ; elles viennent s'appliquer à la face interne de la membrane ovulaire (vitelline), et forment ainsi une membrane limitant une sphère creuse pleine d'un liquide albumineux. Cette membrane a été appelée *blastoderme* et les cellules qui la composent deviennent les *cellules blastodermiques* (fig. 74). C'est à leurs dépens que va se former l'embryon.

Le fractionnement vitellin est une phase générale de l'évolution ovulaire ; mais il ne s'opère pas toujours uniformément. Chez les oiseaux, les poissons, les reptiles

écailleux, les mollusques céphalopodes, il n'est que partiel ; une portion seulement du vitellus y prend part. Alors la membrane blastodermique, au lieu de former une sphère creuse, devient une simple calotte sphérique, et la partie du vitellus non employée joue seulement le rôle d'une substance nutritive.

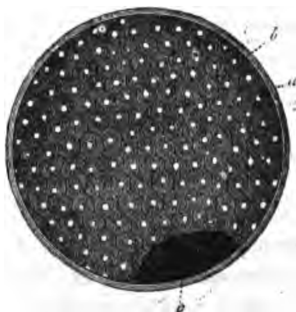


Fig. 74.

OEuf de lapin pris dans l'utérus. — *a*, zone pellucide ; *b*, vésicule blastodermique formée de cellules hexagonales, en briques ; *c*, accumulation de cellules internes.

Dans l'œuf des insectes, des arachnides, de certains crustacés, il se produit, au lieu d'une série régulière de bipartitions, un fendillement irrégulier, d'où résulte la formation de fragments inégaux. Mais ces fragments finissent par se grouper en masses polyédriques.

Quelles que soient d'ailleurs la forme et l'étendue de la membrane blastodermique, elle ne tarde pas à se dédoubler en deux membranes superposées. Cette division est surtout sensible au point du blastoderme, où vont se former les premiers linéaments de l'embryon. Le feuillet blastodermique externe a été appelé *feuillet séreux* ou *animal*, parce qu'il est en effet le rudiment de la plupart des appareils et des organes de la vie animale. Le feuillet interne est dit feuillet *muqueux* ou *végétatif*. De lui proviendront les appareils nutritifs.

Enfin les cellules s'accumulent en un point du blastoderme et y forment une sorte de tache, la *tache embryonnaire*. C'est là que va se développer l'embryon.

Dans leur ensemble, les phénomènes que nous venons de décrire sont communs à tous les animaux vertébrés

et invertébrés, doués de l'ovulation sexuée. Mais, à partir de la formation de l'embryon, il s'établit des différences correspondant tout d'abord aux deux grands embranchements du règne animal. Suivre pas à pas ces différences serait évidemment sortir du cadre qui nous est imposé. Nous nous bornerons à indiquer quelques faits généraux.

La division du règne animal en embranchements vertébré et invertébré est de toutes la plus générale, la plus importante ; aussi s'accuse-t-elle au début même de l'évolution embryonnaire. Dans l'ovule vertébré, la tache embryonnaire s'allonge en ellipse, se soulève en son milieu en bouclier et, en ce point, le feuillet séreux se creuse en sillon rectiligne (ligne primitive, *nota primitiva*). Les bords du sillon se relèvent de plus en plus, et au fond se forme un cordon cellulaire solide, sorte d'échafaudage provisoire, autour duquel se formera la colonne vertébrale. Ce cordon, c'est la *notocorde* ou *corde dorsale* (fig. 75 et 76).

C'est aux traités spéciaux qu'il faut recourir pour suivre les phénomènes ultérieurs du développement, la formation de la *vésicule ombilicale*, dont le contenu sert encore à la nutrition du jeune être, celle de l'amnios, qui l'enveloppe dans un milieu aqueux, l'origine du placenta ou de l'organe vasculaire, qui, chez les vertébrés supérieurs vivipares, établit une communication entre le système circulatoire de la mère et celui de l'embryon, quand ce dernier a épuisé les ressources nutritives du vitellus.

Un fait général bien important et dont les partisans des doctrines évolutives ou darwiniennes tirent à bon droit grand parti, c'est l'identité des formes embryonnaires au début chez tous les vertébrés et l'apparition dans un ordre régulier et successif des caractères de chaque type.

On peut comparer les embryons des vertébrés à un groupe de voyageurs partant d'un même lieu et s'engageant tout d'abord dans une large route commune, qu'ils

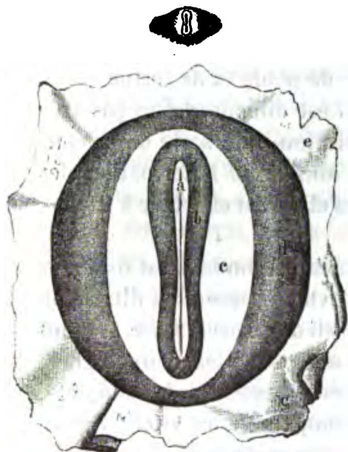


Fig. 75.

OEuf de chien. L'embryon, en forme de semelle, est ébauché.

a, sillon dorsal;
b, plaques dorsales;
c, aire claire;
d, aire germinative opaque;
e, membrane de la vésicule germinative.

La petite figure supérieure est de grandeur naturelle. L'inférieure est grossie.

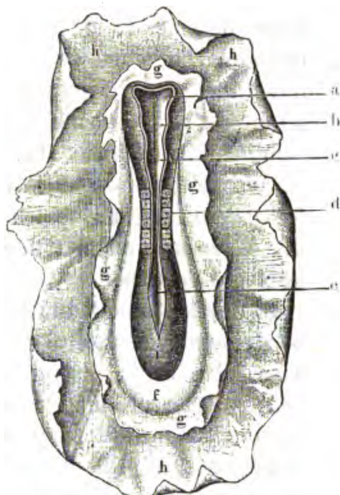


Fig. 76.

Embryon d'un œuf de chien âgé de vingt jours. Sillon dorsal largement ouvert et entouré partout d'un bord clair, qui indique le premier dépôt de la substance nerveuse sur le fond et les parois du sillon. On voit au fond, sur la ligne médiane, la *chorda dorsalis* représentée par une bande plus foncée. — *a, b, c,* rudiments des vésicules cérébrales; *e*, sinus rhomboïdal postérieur; *d*, corps de vertèbres primordiales; *f*, plaques latérales; *g*, feuillets moyen et externe de la vésicule blastodermique, encore réunis; *h*, feuillet muqueux; *i*, corps de l'embryon.

abandonnent pour entrer successivement dans des chemins d'importance de plus en plus secondaire et divergeant de moins en moins. Ce sont d'abord les poissons qui se dif-

férencient, puis les reptiles, puis les oiseaux, puis les mammifères, enfin les divers types mammifères. Moins les individus devront différer à l'état adulte, plus leurs embryons se différencient tardivement. C'est à la dernière période du développement, par exemple, qu'un embryon de singe se peut distinguer d'un embryon d'homme, et il est un moment, où l'un et l'autre ne diffèrent pas plus des embryons de poule et de tortue qu'ils ne diffèrent entre eux (1)? Il est difficile de ne pas voir là, avec les partisans de l'évolution, une sorte de paléontologie vivante, un tableau abrégé de la formation des divers types animaux, telle qu'elle s'est effectuée à travers les cycles écoulés.

Le développement de l'élément fécondant est tout d'abord si analogue à celui de l'ovule proprement dit, qu'on a pu, à bon droit, appeler cet élément *ovule mâle*. Partout où existe la reproduction sexuée, dans les deux règnes, l'élément mâle est primitivement une cellule complète, renfermant un protoplasme comparable au vitellus et un noyau analogue à la vésicule germinative.

Ces ovules mâles, d'après le témoignage de plusieurs observateurs, semblent se former le plus ordinairement par genèse spontanée, aussi bien dans l'anthère des végétaux phanérogamiques que dans les appareils spéciaux des animaux.

Une fois la cellule mâle formée et parvenue à un certain degré de maturité, son contenu protoplasmique granuleux subit spontanément un phénomène, qui rappelle beaucoup le fractionnement de l'ovule femelle fécondé. Les éléments derniers de ce fractionnement, qui sont généralement en nombre pair, se ressemblent beaucoup chez la plupart des plantes cryptogamiques et dans

(1) Huxley, *Place de l'homme dans la nature.*

tout le règne animal. Ce sont des cellules, d'où sort en dernier lieu un corpuscule mobile appelé *spermatozoïde* dans le règne végétal et *spermatozoaire* ou *zoosperme* dans le règne animal. Les cellules de fractionnement, dont chacune ne produit d'habitude qu'un de ces corpuscules fécondants ont été appelées, toujours par analogie, *cellules embryonnaires mâles*.

Dans les plantes phanérogamiques, les ovules mâles sont les grandes cellules, que l'on appelle *utricules polliniques*, et les produits de leur fractionnement sont des *cellules polliniques*, dont chacune finit pas représenter un grain de pollen. C'est le contenu de ces grains de pollen ou *favilla* qui est la substance fécondante. L'évolution est ici moins complète que celle des cellules embryonnaires mâles. En effet, ces dernières ressemblent d'abord presque identiquement aux cellules polliniques; mais, arrivées à un plus haut degré de maturité, elles se différencient davantage et leur contenu devient spermatozoaire ou spermatozoïde. Si le contenu des grains de pollen ne s'organise pas en corpuscules doués d'un mouvement de totalité, il n'est pourtant pas complétement immobile, et les granulations que l'on y observe sont animées de mouvements comparables d'ailleurs à ceux qui s'effectuent dans beaucoup d'autres cellules végétales. Quelle que soit du reste la dissemblance apparente entre la favilla du grain de pollen et le corpuscule fécondant mobile, spermatozoaire ou spermatozoïde, le phénomène de la fécondation ne change pas pour cela dans son essence. En définitive, la substance fécondante pénètre toujours dans l'ovule et, une fois arrivée là, ses molécules s'y dissocient et se mélangent intimement à celles de l'ovule femelle.

La forme des spermatozoaires et des spermatozoïdes est assez variable. Ces éléments fécondants sont glou'eux

chez quelques végétaux ; ils le sont aussi chez les myriapodes et quelques crustacés. Mais, le plus souvent, ils sont plus ou moins filiformes et renflés en un point. Ils ont déjà cette forme dans les cellules embryonnaires mâles, où, avant la rupture de ces cellules, on les voit roulés en spirale (fig. 77).



Fig. 77. Spermatozoaires de l'homme : *a*, tête ; *b*, corps ; *c*, queue.

Le plus souvent, la partie renflée du spermatozoaire est à l'une de ses extrémités ; cette partie est de forme variable, cylindrique, sphérique, ovale, allongée en pointe, etc., etc. Les spermatozoaires des mammifères ont une tête assez courte et un filament caudal long et mince. Mais la forme du spermatozoaire semble assez secondaire, puisque certains animaux ont simultanément des zoospermes de deux formes différentes (*paludina vivipara* (1). La partie filiforme est l'organe locomoteur du spermatozoaire. Les mouvements produits par cette sorte de cil vibratile sont d'ailleurs très-variés : ce sont tantôt des mouvements de reptation, tantôt des mouvements de torsion, tantôt des frétillements, parfois des mouvements de vrille (2). Il n'y a pas de spermatozoaires immobiles chez les vertébrés ; il semble, au contraire, y en avoir un grand nombre chez certains invertébrés, spécialement chez les crustacés ; mais leur rigidité n'est vraisemblablement qu'apparente et cesse sans doute, comme on l'a constaté pour plusieurs espèces, aussitôt qu'ils ont pénétré dans le corps de la femelle. Il est certain que, même les spermatozoaires mobiles de l'homme et des mammifères, se meuvent avec beaucoup plus de vélocité, quand ils sont parvenus dans le mucus du col ou du corps utérin. Leur vitesse de

(1) Leydig, *loc. cit.*, p. 600.
(2) *Ibid.*, p. 554.

progression est d'ailleurs infiniment moindre qu'elle ne le paraît sous le microscope. D'après Henle, elle serait seulement de 18 centièmes de millimètre par seconde chez l'homme. Cette vitesse varie beaucoup avec la nature du milieu ambiant; elle s'exagère dans une solution alcaline, diminue au contraire et s'éteint dans un milieu acide.

Depuis la découverte des spermatozoaires par Leuwenhoeck, on s'est demandé bien des fois si les spermatozoaires étaient ou non des animaux. Des micrographes, partisans de la première opinion, ont été jusqu'à affirmer que les spermatozoaires des mammifères étaient des animaux différenciés. Certains même leur avaient trouvé des testicules. A en juger d'après nos instruments actuels d'observation, les spermatozoaires sont absolument sans structure, bien inférieurs sous ce rapport aux cellules épithéliales vibratiles, auxquelles on les a comparés. Il les faut considérer comme des éléments anatomiques spéciaux, supérieurs à la plupart des autres éléments histologiques par leur motilité et surtout par leur propriété fécondante, très-inférieurs, d'autre part, par leur structure.

Tous les grains de pollen, tous les spermatozoïdes ou spermatozoaires sont doués de la propriété fécondante; mais il semble établi, d'après des expériences de fécondation artificielle, qu'un seul grain de pollen, qu'un seul spermatozoaire, ne suffisent pas à féconder un ovule. Il faut que l'œuf soit véritablement et littéralement imprégné de molécules fécondantes; il est un certain minimum, qui ne suffit pas à donner l'impulsion nécessaire.

Nous avons vu quelle grande analogie existe entre l'ovule mâle et l'ovule femelle. Chez les animaux inférieurs et même chez les animaux supérieurs, à une certaine période de l'évolution embryonnaire, l'analogie

s'étend jusqu'aux appareils générateurs mâle et femelle tout entiers. A un moment de la vie intra-utérine il est encore impossible de distinguer l'embryon mâle de l'embryon femelle, et, chez beaucoup d'invertébrés, la difficulté persiste pendant toute la durée de la vie, à tel point que des hommes comme Cuvier, Carus et de Blainville ne sont jamais parvenus à distinguer l'un de l'autre l'ovaire et le testicule des gastéropodes (1).

L'ovule et les spermatozoaires ont encore une propriété commune, la propriété de reviviscence. Des spermatozoaires desséchés peuvent récupérer leur motilité après un temps fort long, alors qu'on les humecte de nouveau, et M. Davaine a pu conserver pendant cinq ans, sans les tuer, dans une solution d'acide chromique à 2 pour 100, les œufs des ascarides lombricoïdes de la tortue grecque. Quant aux graines végétales, on sait que certaines d'entre elles peuvent encore germer après des milliers d'années.

(1) Dugès, *loc. cit.*, t. I, p. 231.

CHAPITRE V.

DE LA RÉGÉNÉRATION.

Il est impossible de terminer un exposé de la génération sans dire quelques mots de la régénération, qui essentiellement n'en diffère pas. Nous nous bornerons d'ailleurs à citer les lois générales de la régénération, sans énumérer l'innombrable série des faits particuliers, que tout le monde connaît.

Il semble résulter des observations micrographiques modernes, qu'il y a identité entre les phénomènes primordiaux de la génération première des tissus dans l'embryon et ceux de leur régénération chez l'adulte. Dans l'un et l'autre cas, les éléments des tissus nouveau-nés se formeraient par genèse spontanée au sein d'un blastème organisable. Chez l'embryon animal, ce blastème formateur résulte de la liquéfaction des cellules embryonnaires; chez l'animal adulte il est formé par les éléments anatomiques des tissus conservés. Mais, dans l'un et l'autre cas, les tissus spéciaux n'apparaissent point d'emblée; ils sont d'abord précédés par une génération transitoire de noyaux ou de cellules dites *embryoplastiques*, auxquels succèdent enfin les éléments histologiques spéciaux.

Plus un animal est bas placé dans la hiérarchie, plus il possède à un haut degré la faculté régénératrice. Dans ce cas, il y a encore confusion physiologique. Point d'éléments spécialement chargés de la reproduction. Chaque élément histologique possède alors, à l'état d'indivision, les propriétés fondamentales de nutrition, de développement, de reproduction. Tout le monde sait que, chez les animaux inférieurs, on peut faire avec un plein succès de la fissipa-

rité artificielle. Les polypes à bras, les lombrics terrestres, les naïs, les planaires se peuvent sectionner impunément. Chaque fragment isolé vit de sa vie propre, se complète et redevient un animal entier.

On peut même créer ainsi des monstres. Par exemple, en sectionnant longitudinalement une planaire jusqu'à mi-longueur, Dugès a pu obtenir au bout de quelques jours une planaire bicéphale.

Quand un animal inférieur est sectionné transversalement en deux parties, c'est la portion la plus différenciée, la plus centralisée, qui se complète le plus rapidement. Sur le polype à bras, c'est la portion buccale qui se répare la première. Chez le lombric terrestre, le fragment antérieur s'est refait une queue bien avant que le postérieur ait réussi à reformer une tête.

Dans tous les cas, les organes de nouvelle formation se régénèrent aux dépens des blastèmes de la portion qu'ils complètent. Quand un limaçon refait une tête, quand la queue d'un lézard repousse, quand, ainsi que l'a observé Spallanzani, une salamandre régénère une queue nouvelle avec ses nerfs, ses muscles, ses vertèbres, ses vaisseaux, sa peau ; quand elle se crée à nouveau des pattes, une mâchoire inférieure, etc., tout ce travail de reconstruction s'opère, sans que le poids du tronçon demeuré vivant augmente. L'animal est redevenu entier et complet, mais il est affaibli, amoindri ; c'est pourquoi il est impossible de renouveler indéfiniment l'opération sans provoquer la mort. La tête des lombrics terrestres, par exemple, ne peut se reproduire plus de deux ou trois fois. C'est aussi pour cette raison, que la partie régénérée est souvent plus petite que l'ancienne ou plus imparfaitement conformée.

Par une singularité inexpliquable, la régénération est parfois d'autant plus certaine que la portion enlevée est

plus considérable. Quand Réaumur brisait seulement un ou deux articles d'une patte antérieure d'écrevisse, la perte ne se réparait pas ; au contraire, la patte entière se régénérait, quand on l'avait enlevée en totalité (1).

La régénération étant simplement, au même titre que la génération, une exagération de la propriété de nutrition, il est naturel qu'elle soit d'autant plus prompte et facile que l'individu est plus jeune. Elle s'opère, en effet, plus rapidement dans la jeunesse que dans la période d'état, et plus facilement encore chez la larve que chez l'animal complet. Les jeunes salamandres reproduisent leurs pattes plus aisément et plus complétement que les vieilles. La queue du têtard sectionnée repousse d'autant plus vite que l'animal est plus jeune. L'insecte parfait ne reproduit pas ses antennes, tandis que cette régénération s'accomplit bien chez sa larve, etc.

La faculté de régénération, et c'est là un fait assez singulier au premier abord, semble être surtout propre au règne animal ; elle existe peu ou point chez les végétaux ; une feuille, une branche coupées ne se refont point. Ce fait vient à l'appui de la théorie, qui considère tout végétal complexe comme une agrégation, une sorte de colonie de polypiers, dont les diverses parties ont leur existence propre, individuelle. Chaque feuille, chaque bourgeon vivent pour leur compte, et les diverses parties du végétal sont reliées entre elles par une très-faible solidarité.

Chez les animaux supérieurs et l'homme, on ne voit point, comme chez les animaux inférieurs, un organe entier, complexe, composé de tissus divers, se reproduire en totalité ; mais tous les tissus, sauf peut-être la fibre musculaire striée, peuvent se reproduire isolément et par petites portions.

(1) Réaumur, *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1712.

C'est un fait de notoriété vulgaire et souvent utilisé en thérapeutique chirurgicale, que de grandes quantités de tissu osseux peuvent se régénérer, et même assez promptement, pourvu que la membrane vasculaire de l'os, le périoste, soit conservé.

La régénération d'un tissu est d'autant moins facile que ce tissu est plus différencié, affecté à des fonctions plus délicates, plus nobles; pourtant, contrairement à cette proposition générale, le tissu musculaire strié se régénère peu ou point, tandis que la reproduction du tissu nerveux n'est pas rare. Un nerf sectionné et même réséqué se refait, du point lésé à ses dernières ramifications, et, suivant M. Ranvier, il se régénère en parcourant les phases, par lesquelles il a déjà passé lors de son développement fœtal. Les centres nerveux, les hémisphères cérébraux eux-mêmes, semblent pouvoir se réparer dans une certaine mesure. Comment expliquer sans cela un bon nombre de cas incontestables de rétablissement complet des facultés intellectuelles après de graves lésions, même des pertes de substance notables de l'encéphale?

Sans doute les faits biologiques, comme tous les phénomènes de l'univers, obéissent à des lois, à de vraies lois, inflexibles et sans exception; mais ces faits sont tellement complexes, emmêlés; l'ensemble de leurs causes forme un écheveau tellement embrouillé, que la plupart de nos prétendues lois biologiques sont simplement des généralisations imparfaites, souffrant nombre d'exceptions et toujours sujettes à révision.

LIVRE V.

DE LA MOTILITÉ.

CHAPITRE I.

DES MOUVEMENTS BROWNIENS.

Les propriétés générales de la matière organisée, dont nous nous sommes jusqu'ici occupés, se rattachent toutes étroitement à la propriété biologique vraiment fondamentale, à la nutrition ; à proprement parler, elles n'en sont que des dépendances. Il en est autrement de celle que nous avons maintenant à examiner. Sans doute la faculté de se mouvoir est subordonnée à la nutrition, qui est l'essence même de la vie, mais elle en diffère ; elle lui est en quelque sorte surajoutée.

Avant d'aller plus loin, il importe de bien distinguer la motilité, propriété organique, des mouvements, attributs essentiels de toute matière organique et inorganique. Aujourd'hui, la plupart des savants et un certain nombre de penseurs ont définitivement rompu avec la vieille distinction métaphysique, qui, d'un seul coup, tranchait l'univers en deux parties n'ayant entre elles que des relations de contingence. On a cessé d'abstraire les propriétés actives de la substance matérielle de cette subtance elle-même ; on ne se figure plus le monde comme constitué par une substance étendue, mais en soi parfaitement inerte, sans cesse incitée et mise en mouvement par un agent impalpable appelé force. Le vieux divorce n'existe

plus. La force s'est mariée de nouveau à la matière, dont elle n'avait d'ailleurs jamais été séparée, si ce n'est dans le cerveau des métaphysiciens. Il n'y a plus d'inertie dans l'univers. Derrière tous les phénomènes, se cache une substance étendue, jamais immobile, et qui est à elle-même son propre moteur. Si l'on parle encore souvent de forces, c'est par pure habitude, ou par pur artifice de langage. En dernière analyse, la notion de force se peut partout ramener à des mouvements d'une substance matérielle active.

Sans parler même des mouvements planétaires, qui entraînent tout, nous savons que les corps les plus solides et les plus immobiles en apparence se résolvent en atomes et en molécules sans cesse animés de rapides mouvements. Naturellement, ces mouvements moléculaires ont lieu tout aussi bien au sein des corps organisés. Ils y sont même bien autrement variés, puisque ces corps se nourrissent, c'est-à-dire sont le siége d'incessants échanges moléculaires, et se décomposent sans trêve pour se recomposer.

Les mouvements moléculaires s'effectuent donc dans toute substance vivante, mais tous les corps vivants ne sont pas doués de motilité. La motilité peut se définir la propriété qu'ont certains corps organisés, soit de se déplacer en totalité dans l'espace, soit de se contracter, de se raccourcir, de modifier momentanément leur forme, spontanément et indépendamment de toute action mécanique d'origine extérieure.

Les définitions, quelque précision que l'on s'efforce de leur donner, s'ajustent toujours avec une certaine difficulté à tous les faits particuliers qu'elles embrassent. Il est, par exemple, certains mouvements que l'on ne sait trop où classer; nous voulons parler de mouvements assez mal étudiés encore et connus sous le nom de mouvements

browniens. Le botaniste Robert Brown constata le premier que les fines particules des poussières minérales bien broyées se mouvaient, spontanément en apparence, alors qu'elles étaient tenues en suspension dans un milieu liquide. En effet, tous les corpuscules ayant de trois à quatre millièmes de millimètre de diamètre exécutent dans les liquides, sous le microscope, des sortes d'oscillations et se déplacent de quatre à cinq fois leur diamètre. Il est difficile d'attribuer à de simples courants liquides, comme on l'a fait souvent, ces mouvements, qui semblent dus bien plutôt à des phénomènes d'attraction à courte distance et doivent rentrer dans le domaine de la capillarité. Or des mouvements à peu près semblables s'observent aussi dans certaines substances organiques. Ainsi, quand des leucocytes ou des infusoires se désagrégent, ils se résolvent en granulations animées de très-vifs mouvements browniens. Faut-il considérer ces mouvements comme organiques ou comme inorganiques? On ne le sait trop ; et la distinction devient plus embarrassante encore pour les mouvements de la *favilla* pollinique, dont nous avons déjà dit quelques mots.

Nombre d'observateurs, Needham, Amici, Guillemin, etc., etc., se sont occupés des mouvements de la favilla ou plutôt de ses corpuscules. Le dernier des observateurs que nous venons de citer a même prétendu les comparer aux mouvements des animalcules spermatiques. Robert Brown avait déjà observé ces mouvements, et il les avait vus aussi dans les grains polliniques, spécialement dans les grains ovoïdes et transparents du pollen des graminées. Ces mouvements auraient même une singulière persistance, puisque R. Brown dit les avoir retrouvés encore dans des grains de pollen conservés dans un herbier depuis vingt-cinq ans. En outre, Alex. Brongniart y a noté des particularités intéressantes. Une

fois les grains de pollen crevés dans l'eau, les granulations de la favilla du *pepo* étaient encore animées de leurs mouvements oscillatoires ordinaires et se déplaçaient. Les granulations polliniques de plusieurs autres espèces (*hibiscus palustris* et *syriacus*, *rosa bractea*, etc.), *s'incurvaient et changeaient de forme.*

Sans doute, il n'y a rien d'organique dans les mouvements browniens des particules minérales; mais ils sont à peu de chose près semblables aux mouvements browniens des débris de globules blancs et d'infusoires désagrégés, et ces derniers ressemblent aux oscillations de la *favilla*, qui, chez certaines des espèces citées par Brongniart, ont vraiment l'apparence de mouvements spontanés et organiques, puisque non-seulement les granulations s'incurvent et changent de forme, mais, en outre, sont paralysées par le contact avec l'alcool et diverses autres substances, ce qui n'arrive jamais aux particules minérales.

Il semble donc qu'il y ait, dans les phénomènes que nous venons de citer, une sorte de passage graduel du mouvement inorganique à la motilité organique. Mais quantité de mouvements franchement organiques s'effectuent dans les deux règnes vivants, et il nous reste à les énumérer, à en indiquer autant que possible les conditions et les lois.

CHAPITRE II.

DES MOUVEMENTS DANS LE RÈGNE VÉGÉTAL.

Nous écarterons tout d'abord comme étrangers à notre sujet les mouvements lents, insensibles, des tiges et des racines, qui dépendent du développement, de la croissance, etc., et d'où résultent, par exemple, la direction des tiges vers le ciel, des racines dans le sol, la torsion en spirale de certaines tiges, etc.

Au contraire, les mouvements de certaines espèces de conferves rappellent beaucoup ceux des animaux. En effet, leurs filaments se balancent, s'abaissent, se relèvent, se tordent, oscillent, etc. La chaleur et la lumière les accélèrent ; le froid et l'obscurité les ralentissent. Les acides, les alcalis, l'alcool, etc., les suppriment.

Nous avons déjà signalé les mouvements des spores et des anthérozoïdes. Chez nombre d'espèces phanérogamiques, les diverses parties de la fleur exécutent des mouvements étendus. Certaines fleurs s'ouvrent le jour et se ferment la nuit, ou inversement. Ce phénomène s'accomplit même, pour chaque espèce, habituellement à une certaine heure, de telle sorte qu'en choisissant des espèces convenables, Linné put faire ce qu'il appela une *horloge de Flore*.

Les mouvements des pétales dépendent beaucoup de la chaleur et de la lumière. C'est seulement entre 8 et 28 degrés que s'ouvre la fleur du *crocus*. Au-dessous elle ne s'ouvre point ; au-dessus elle se ferme. A une température constante, toute brusque augmentation de lumière tend à déterminer l'épanouissement des fleurs de crocus, de

tulipe, des composées ; toute brusque diminution tend à les fermer.

Dans des caves éclairées la nuit par des lampes et maintenues le jour dans l'obscurité, de Candolle a vu des fleurs habituellement diurnes s'ouvrir le soir et se fermer le matin. Les fleurs à habitudes nocturnes changèrent aussi en sens inverse (1).

Les mouvements des étamines sont assez communs et généralement plus rapides que ceux des pétales. Les plus connus sont ceux des étamines du *berberis vulgaris*. Irritées par un contact quelconque, ces étamines s'abaissent vers le pistil et répandent leur pollen sur le stigmate ; après quoi elles se redressent et se rapprochent des pétales. Le mouvement des étamines est parfois spontané et successif ; ainsi Humboldt a vu les étamines du *parnassia palustris* s'approcher l'une après l'autre et par saccades du pistil, répandre à trois reprises leur pollen sur le stigmate et reprendre leur première position. Certaines substances vénéneuses abolissent ces mouvements des fleurs. Des branches fleuries d'espèces à pétales ou à étamines mobiles sont paralysées, quand on plonge leurs tiges dans diverses solutions (acide prussique, eau d'amandes amères, alcool, éther, acide acétique, ammoniaque, etc.). Les mouvements s'arrêtent, dès que le liquide vénéneux est parvenu par absorption jusqu'aux organes mobiles (2).

Une fois la fécondation accomplie, la vitalité de la fleur diminue et les mouvements cessent.

Quantité de plantes ont des feuilles, qui exécutent chaque jour un mouvement régulier et périodique. Elles ont une position diurne, une position nocturne, et passent lentement de l'une à l'autre. En outre, certaines d'entre

(1) Mémoires présentés à l'Institut.

(2) Gœppert, *De acidi hydrocyanici vi in plantis commentatio*. Breslau, 1827.

elles sont excitables par des contacts divers, des agents mécaniques, par la lumière, etc., de sorte que des mouvements accidentels se surajoutent aux mouvements diurnes. Généralement ces mouvements s'accomplissent dans le sens de la position nocturne. C'est surtout chez les légumineuses, particulièrement chez les mimosées et les oxalidées, que les lents mouvements de veille et de sommeil sont le plus facilement appréciables. Ils sont provoqués par les variations de l'intensité lumineuse et sont spécialement dus à l'action des rayons les plus réfrangibles (1).

Les espèces les plus célèbres par la mobilité de leurs feuilles sont la *dionæa muscipula*, l'*oxalis sensitiva* de Java et la *mimosa pudica*. Les feuilles de la dionæa sont munies de vrais dards, qui transpercent les insectes alors qu'elles se redressent à leur contact. Quant à l'*oxalis sensitiva*, elle se comporte à peu près comme la *mimosa pudica*, que nous prendrons comme type.

Le mouvement périodique diurne est très-marqué chez la *mimosa pudica*. Selon les observations de MM. P. Bert et Millardet (2), il s'effectuerait ainsi. Le soir, le pétiole de la feuille composée est fortement abaissé, puis il commence à se relever vers minuit, par conséquent en dehors de toute excitation lumineuse, et, avant le lever du soleil, il a atteint son maximum de redressement. Au lever du soleil, il commence à s'abaisser assez rapidement, tandis que les folioles s'en écartent et s'étalent. Au commencement de la nuit, l'abaissement pétiolaire est à son maximum et les folioles se sont rapprochées du pétiole. Mais, en dehors de ce lent mouvement périodique, la feuille est d'une extrême sensibilité, et tout contact, toute irritation mécanique ou chimique lui font prendre instantanément sa position nocturne.

(1) J. Sachs, *loc. cit.*, p. 1029-1031.

(2) Bert, *Recherches sur les mouvements de la sensitive*. Paris, 1867.

C'est vers 30 degrés que la sensibilité de la *mimosa pudica* atteint son maximum. Au-dessous de 15 degrés, elle est nulle. A 40 degrés les folioles deviennent rigides en une heure, à 45 en une demi-heure, de 48 à 50 en quelques minutes. Jusque-là, elles peuvent encore recouvrer leur sensibilité à une température plus basse; mais à 52 degrés elles la perdent définitivement. Au-dessous de 15 degrés, ou après avoir séjourné quelques jours dans l'obscurité, les folioles deviennent aussi rigides, mais transitoirement (1).

Ingenhouz et Humboldt ont vu la motilité de la sensitive disparaître, quand la plante était plongée dans de l'acide carbonique, de l'azote, etc., mais alors c'est uniquement parce qu'elle ne respire plus. Au contraire, ils l'ont vue naturellement persister dans l'oxygène. Un courant électrique détermine l'affaissement des feuilles. Le chloroforme et l'éther abolissent au contraire la motilité.

Lindsay, Dutrochet et, après eux, nombre d'observateurs ont constaté, que l'agent principal des mouvements de la sensitive est le bourrelet situé à la base du pétiole. Selon Dutrochet, ce bourrelet agirait comme s'il était composé de deux ressorts, l'un supérieur, l'autre inférieur. Le premier abaisserait le pétiole, le second le redresserait. L'action du bourrelet coïnciderait avec son gonflement, sa turgescence, et serait due, selon certains botanistes, à un afflux séveux. Mais comment se produit cet afflux séveux? Comment expliquer le mouvement des folioles? Comment surtout comprendre qu'une excitation puisse se transmettre d'une feuille à l'autre, parfois même à une feuille éloignée, en sautant les feuilles les plus voisines, parfois à travers la plante tout entière, puisque toutes les feuilles se contractent successivement, alors

(1) Sachs, *loc. cit.*, p. 855, 1036, 1037; et Dutrochet, *Mémoires pour servir, etc.*, t. I, p. 524.

que l'on verse sur les racines une goutte d'acide sulfurique (1) ?

Il faut bien admettre ici l'intervention d'éléments anatomiques, de tissus contractiles, analogues à ceux qui existent chez les animaux. En effet, M. Vulpian a rencontré, aux points d'attache des folioles et à la base des pétioles, des cellules renfermant une gelée finement granuleuse, qu'il compare à la substance des fibres musculaires et qu'il dit avoir vu se contracter sous l'influence de divers excitants. M. Cohn, de Breslau, a trouvé des éléments histologiques analogues dans les filets des anthères des cynarées ; ce sont des cellules allongées, striées longitudinalement au repos, se contractant sous l'influence de divers excitants et offrant alors des stries transversales très-accusées.

Ces éléments anatomiques peuvent bien être les agents des mouvements locaux, directement provoqués. Quant aux mouvements indirects, transmis à des feuilles non excitées, on ne saurait s'en rendre compte, sans admettre une certaine contractilité des vaisseaux séveux, le long desquels l'excitation se transmettrait de propre en proche. Ce genre de contractilité vasculaire est plutôt animal que végétal ; néanmoins il existerait chez un bon nombre de végétaux, si les faits observés autrefois par Goeppert sont exacts. Au dire de cet observateur, des branches coupées sur des plantes riches en sucs laiteux (*chelidonium majus, lactuca perennis, euphorbia esula*, etc.) ne laissent plus écouler de liquides, quand on les plonge dans de l'acide prussique.

Il y aurait donc là une propriété commune aux deux règnes, qui se touchent d'ailleurs, par tant d'autres points. La manière dont se meuvent les spores et les anthéro-

(1) Vulpian, *Leçons sur la physiologie comparée du système nerveux*, p. 31, 32.

zoïdes des cryptogames forme encore un nouveau trait d'union. Ici ce n'est plus de l'analogie, c'est de l'identité. On sait que nombre d'infusoires se déplacent au moyen des vibrations, des oscillations d'un ou plusieurs appendices filiformes appelés *cils vibratiles,* que l'on retrouve aussi chez les animaux sur une variété de cellules épithéliales, dénommées pour cette raison *épithélium vibratile.* Or ces cils vibratiles animaux ne diffèrent en rien de ceux qui servent d'agents propulseurs aux spores et aux anthérozoaires des algues, de certains champignons, etc. C'est que nos classifications, avec leurs divisions tranchées, ne sont jamais l'exacte expression de la nature. Tout se tient ; partout il y a des transitions et des nuances.

CHAPITRE III.

DES MOUVEMENTS DANS LE RÈGNE ANIMAL.

Sans être, comme nous venons de le voir, spéciale au règne animal, la motilité est néanmoins une propriété infiniment plus répandue et plus développée dans le règne animal que dans le règne végétal. Il n'est guère d'espèce animale qui n'en soit plus ou moins douée, mais ce n'est pas une propriété inhérente à la matière organisée; car quantité d'éléments histologiques en sont dépourvus, et dès que l'animal est quelque peu perfectionné, quelque peu différencié, la motilité est l'attribut et la fonction d'un tissu spécial, au moins dans son mode le plus parfait.

Au plus bas degré de l'animalité, quand tout est encore confus dans la substance vivante, c'est le corps tout entier de l'animal, qui est constitué par une substance contractile, homogène, changeant perpétuellement de forme, émettant et rétractant sans cesse des expansions. Cette substance contractile, amorphe, a été appelée *sarcode.* C'est elle qui forme exclusivement le corps des amibes, des monères les plus inférieures (*bathybius hæckelii*), aussi des rhizopodes, qui se meuvent en émettant et en rétractant des expansions sarcodiques.

Le premier effort de différenciation semble être la formation de cils vibratiles. Ici les expansions mobiles ne sont plus transitoires. Elles ont une forme fixe, définie. Ce sont des organes persistants et constituant, comme nous l'avons vu, le principal agent de locomotion chez les infusoires.

Chez les hydroïdes, en en exceptant l'hydre proprement

dite, il y a déjà une certaine différenciation de tissu, et une mince couche contractile existe, à la périphérie du corps, au-dessous du revêtement épithélial. Ce tissu est déjà composé de fibres longues et fines (1).

Au contraire, la substance des éponges est formée de corpuscules amibiformes, amorphes et contractiles.

Chez beaucoup d'animaux, notamment chez nombre de vers, dans la première période de la vie, les seuls organes locomoteurs sont encore des cils vibratiles; mais, à l'âge adulte, il s'est développé sous le tégument externe une couche musculaire constituée par des fibres confusément entrelacées (fig. 78).

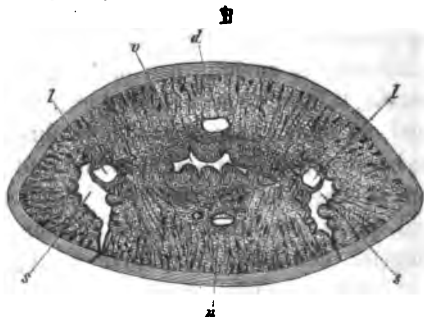


Fig. 78.

Coupe d'*Hirudo*. — *c*, couche cuticulaire; *m*, couche musculaire; *r*, ligne latérale avec l'organe excréteur; *p*, *p*, lignes médianes supérieure et inférieure; *q'*, fibres obliques *v*, intestin; *d*, vaisseau dorsal; *l*, vaisseau latéral; *s*, vésicule de l'organe excréteur; *n*, chaîne ganglionnaire ventrale.

Il n'en est déjà plus de même chez les échinodermes; là l'appareil contractile forme toujours un tube sous-tégumentaire; mais les fibres qui le composent sont régulièrement groupées (2).

Au point de vue de l'appareil musculaire, les mol-

(1) Gegenbaur, *Manuel d'anatomie comparée*, p. 118.
(2) *Ibid.*, p. 169, 170.

lusques représentent un anneau de transition bien accusé. Pendant les premières phases de leur développement, ils se meuvent souvent au moyen de cils vibratiles. A l'âge adulte, ils sont munis à la fois d'une enveloppe musculaire superficielle et de muscles distincts, traversant la cavité du corps et servant à ouvrir et à fermer les valves. La plupart des fibres musculaires constituant l'appareil moteur ont encore, comme chez les vers, la forme de longs filaments un peu aplatis, qui, parfois, sont subdivisés en fibrilles. Un certain nombre de ces fibres sont pourtant déjà légèrement striées transversalement (1). On y remarque aussi quelques noyaux, qui sont vraisemblablement les derniers vestiges des cellules embryoplastiques primitives, aux dépens desquelles la fibre s'est développée.

Un nouveau et décisif progrès s'accomplit chez les arthropodes. Plus d'enveloppe contractile. Les fibres musculaires sont toutes groupées en amas distincts, ayant une forme définie, en muscles, qui s'insèrent sur telle ou telle partie du corps au moyen de tendons fibreux. Enfin ces muscles sont presque uniquement formés de fibres portant de très-nombreuses stries transversales (2). Sous le microscope, elles ne diffèrent guère de celles qui constituent les muscles de la vie animale chez les vertébrés, c'est-à-dire des muscles chargés d'exciter les mouvements volontaires.

Les muscles volontaires des vertébrés représentent la forme la plus parfaite de la substance contractile. Ils sont supportés par les diverses pièces de la charpente osseuse, sur lesquelles ils s'insèrent et auxquelles ils impriment les mouvements que la volonté ordonne. L'appareil musculaire cutané a disparu, à moins qu'on n'en veuille voir

(1) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 465.
(2) Leydig, *loc. cit.*, p. 152.

des vestiges dans les petits muscles, qui mettent en mouvement les écailles des serpents, les bulbes pileux et les poils des mammifères, les plumes des oiseaux, dans ceux qui plissent la peau de la face humaine, etc., etc. Pourtant, selon Gegenbaur, ces muscles dermiques manqueraient complétement chez les poissons et ne représenteraient en rien le tube contractile des animaux inférieurs.

Au point de vue de la forme élémentaire, la substance contractile, que l'on peut appeler musculaire, se présente sous plusieurs aspects. Il y a d'abord l'état amorphe ou sarcodique, celui de l'amibe, par exemple. Puis la forme cellulaire ; enfin la forme en tubes. Suivant un certain nombre d'histologistes et de physiologistes, il y aurait sous toutes ces formes variées une substance identique. Sans doute la forme peut être primée par le fond et une même substance organisée peut, à la rigueur, constituer des éléments anatomiques diversement configurés. Pourtant, presque toujours, les différences morphologiques correspondent à des fonctions plus ou moins dissemblables. Même les diverses variétés d'éléments musculaires figurés ont chacune, comme nous le verrons bientôt, leur mode spécial de contractilité. Quant à la substance contractile amorphe, on ne peut, tout au plus, que la considérer comme une première ébauche de l'élément musculaire. Elle est semi-fluide, se coagule à 40 degrés, tandis que la vraie substance musculaire est solide. On la peut rapprocher de la substance semi-fluide et vitreuse contenue dans les grosses cellules contractiles des hydres et aussi de la substance, qui constitue tout d'abord le cœur de l'embryon vertébré (1).

(1) Dans ces derniers temps, on a prétendu que le sarcode était semi-fluide, même dans la fibre musculaire striée. Cette substance fluide serait contenue dans des tubes. On aurait vu un dermatoïde cheminer en tous sens dans l'épaisseur d'une fibre musculaire comme dans un liquide.

C'est seulement dans la forme dite fibro-cellulaire, que la substance musculaire acquiert une véritable autonomie. Elle est représentée alors par des cellules fusiformes, plus ou moins aplaties, pourvues d'un ou même de deux noyaux et capables de se raccourcir et de se renfler en se contractant (fig. 79). Il y a souvent de fines granulations autour du noyau. La longueur de la fibre-cellule peut varier de quelques centièmes de millimètre à un demi-millimètre. Ces fibres-cellules se trouvent en très-grand nombre, chez l'homme et les mammifères, dans les tuniques musculaires de l'intestin, des veines et des artères, dans les conduits excréteurs, sous la peau dans diverses régions, notamment sous les follicules pileux, qu'elles mettent en mouvement, sous le scrotum, etc., etc. Ce type d'élément contractile se rencontre avec des variantes chez tous les vertébrés et chez un grand nombre d'invertébrés. Dans les deux cas, il coexiste d'ordinaire avec des éléments contractiles fibreux, qui eux-mêmes sont d'espèces variées.

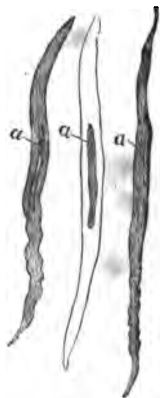


Fig. 79.
Fibres musculaires des artères ; celles du milieu ont été traitées par l'acide acétique, qui montre distinctement le noyau *a*. Grossissem. d'environ 350 diamètres.

Aux termes de la doctrine cellulaire généralement admise en Allemagne, toute fibre musculaire proviendrait originairement de cellules, qui se seraient simplement développées en longueur, en se soudant ensuite bout à bout. Les noyaux, que l'on observe çà et là sur le trajet des fibres chez l'adulte, seraient les derniers vestiges de cet état cellulaire primitif.

Quoi qu'il en soit, les fibres musculaires typiques sont de deux espèces histologiques, reliées d'ailleurs entre elles par une série de formes transitoires. Elles sont *lisses* ou *striées*

Les fibres lisses doivent être considérées, chez l'homme et les vertébrés supérieurs, comme des fibro-cellules très-allongées. Chez nombre d'invertébrés, au contraire, elles semblent être des fils très-ténus, sans renflements nucléaires et sans divisions. Ce sont ces fins éléments filiformes, cylindriques et lisses, qui constituent uniquement l'appareil musculaire des invertébrés inférieurs. Chez les mollusques, on rencontre déjà, dans certains organes, par exemple dans le pharynx de quelques gastéropodes, ces fibres musculaires striées en travers, qui constituent l'appareil musculaire volontaire des arthropodes (crustacés, arachnides, insectes) et des vertébrés.

Cet appareil musculaire strié ou de la vie animale se résout, en dernière analyse, sous le microscope, en très-minces fibrilles, ayant environ 1 millième de millimètre de diamètre et offrant alternativement, dans le sens de leur longueur, des parties transparentes et foncées de même étendue (fig. 80). Ces fibrilles se juxtaposent en plus ou moins grand nombre pour former des *faisceaux musculaires striés* contenus dans une gaîne élastique, transparente, appelée *sarcolemme* ou *myolemme*. Dans le faisceau, les fibrilles sont placées de telle sorte qu'il y a correspondance à peu près exacte entre leurs parties claires et leurs parties obscures, d'où l'apparence striée du faisceau. Le volume de ces faisceaux est très-variable, suivant les espèces animales, et, dans la même espèce, suivant les régions. Ce sont ces faisceaux qui constituent chez les vertébrés la chair proprement dite, la masse musculaire, obéissant aux ordres de la volonté, aux volitions formulées dans le cerveau. C'est, en effet, un caractère constant de la fibre musculaire striée et aussi de la fibro-cellule d'être en rapport, en contact plus ou moins immédiat avec des fibres nerveuses émanant des masses nerveuses centrales. Au contraire, la substance élémentaire sarcodique se

contracte par elle-même, en obéissant aux impressions extérieures directes. De même, les cils vibratiles oscillent indépendamment de toute incitation nerveuse, même chez les animaux supérieurs, puisque la mort même de l'individu ne suspend pas immédiatement leur mouvement. Chez certains vertébrés inférieurs, où le système

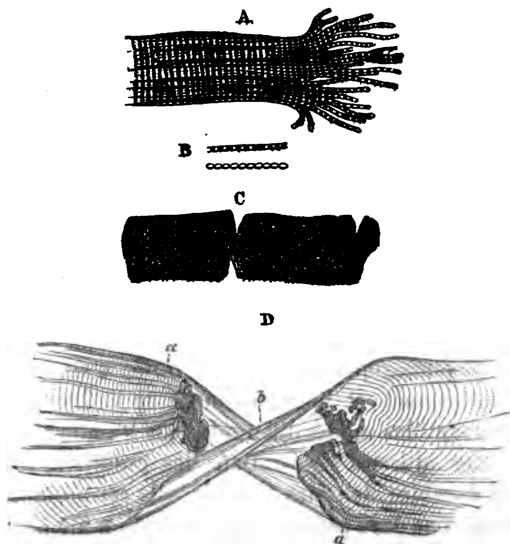


Fig. 80.

A, fibre musculaire dépourvue de sarcolemme et divisée à ses extrémités en ses fibrilles.

B, fibrilles séparées. — C, fibres musculaires qui se séparent en disques.

D, fibre musculaire dont la substance contractile est rompue, tandis que l'enveloppe ou sarcolemme a résisté.

nerveux ne s'est point encore différencié, il existe déjà des fibres musculaires lisses, se contractant aussi spontanément comme la substance sarcodique.

Chez les vertébrés, où les deux systèmes à fibres lisses et à fibres striées sont largement représentés, il y a

entre eux une certaine division du travail. Les fibres lisses, ou fibres-cellules, sont, d'une manière générale, affectées aux appareils et aux organes de la vie nutritive, tandis que les muscles striés sont les serviteurs de la volonté consciente, les muscles de la vie de relation. De là, la division classique en système musculaire *de la vie organique* et système musculaire *de la vie animale.*

Cette division n'est vraie pourtant que dans une certaine mesure. Ici, comme partout en biologie, il n'y a point de distinction absolument tranchée. On trouve des fibres striées dans l'intestin de la tanche, dans le gésier des oiseaux, dans le pharynx de quelques gastéropodes. Enfin la paroi du cœur de tous les vertébrés est formée de fibres striées; mais ces fibres cardiaques ont une disposition en quelque sorte transitoire; elles s'anastomosent entre elles, comme le font les fibres lisses chez certains invertébrés.

Aux différences anatomiques des deux ordres de fibres correspondent des différences de fonctions, des différences physiologiques. La contractilité, c'est-à-dire le raccourcissement et l'élargissement de la fibre, s'effectuent suivant des modes différents dans les muscles lisses et dans les muscles striés. Dans les premiers, elle est lente et durable; dans les seconds, elle est prompte, instantanée et ne dure pas plus que l'excitation même qui l'a provoquée. Cette loi se vérifie dans les divers appareils des vertébrés; elle se vérifie plus visiblement chez les invertébrés. Ceux d'entre eux, les mollusques, par exemple, dont le système musculaire est presque entièrement composé de fibres lisses, se meuvent lentement. Au contraire, les arthropodes, qui ont une musculature striée, ont des mouvements vifs, vigoureux et précis.

La contractilité est une propriété inhérente à la fibre musculaire et peut être mise en jeu par des excitants divers. Elle existe chez les invertébrés inférieurs et chez

l'embryon vertébré, quand il n'a pas encore de système nerveux. Elle persiste chez le vertébré supérieur et adulte, quand le système nerveux a été tué par un poison spécial.

Comme toutes les propriétés organiques, la contractilité a pour base nécessaire la nutrition. Elle ne peut s'accomplir, sans influer sur le double mouvement assimilateur et désassimilateur indispensable au maintien de la vie du tissu musculaire. Chaque contraction correspond à une oxydation plus énergique, à une assimilation plus active, à la formation et à l'élimination de produits désassimilés : le résultat se traduit aussitôt, chez les vertébrés, par des changements dans la couleur, la composition et la température du sang qui sort du muscle, du sang veineux musculaire. Un muscle est-il au repos, le sang veineux qui en provient est presque aussi rutilant que le sang frais et oxygéné amené par l'artère. Le phénomène est plus accusé encore dans le cas de paralysie, dans certaines maladies qui produisent de l'atonie musculaire, dans la syncope. C'est qu'à l'état de repos le muscle est à son minimum de consommation, de vie, de contraction; il absorbe strictement ce qui est nécessaire à son entretien.

Au contraire, dès que le muscle se contracte, il s'use, il se dépense; il absorbe et élimine davantage, aussi le sang veineux qui en sort devient immédiatement noir (1).

Nous savons que ce changement de coloration est l'indice de mutations chimiques importantes. Ainsi le sang veineux musculaire, qui, à l'état de repos, contenait seulement 6,75 pour 100 d'acide carbonique de plus que le sang artériel, en contient 10,79 pour 100, après la contraction.

Une expérience de Matteucci a démontré d'une autre manière que la contraction musculaire correspond à une

(1) Cl. Bernard, *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, p. 220-274.

oxydation de la fibre. On suspendait dans des bocaux de même dimension un même nombre de grenouilles dépouillées et préparées. Dans l'un de ces bocaux, les grenouilles étaient suspendues à des crochets métalliques, par lesquels on faisait passer un courant électrique, qui déterminait des contractions. Au bout de cinq minutes, les grenouilles étaient retirées des flacons, dans chacun desquels on versait un même volume d'eau de chaux. Il en résultait, dans les deux flacons, des précipités de carbonate de chaux; mais le précipité était très-léger dans le flacon, où les grenouilles étaient demeurées immobiles; au contraire, il était très-abondant dans l'autre.

Toute oxydation plus vive a pour effet un certain développement de chaleur, aussi peut-on constater que, durant la contraction, le sang veineux musculaire est plus chaud que le sang artériel.

Mais la production d'acide carbonique dans les tissus vivants résulte et s'accompagne de beaucoup d'autres mutations chimiques, aussi voit-on que les contractions altèrent la composition du suc musculaire, baignant les fibres. A l'état de repos, quand le muscle n'est pas fatigué, ce suc musculaire est abondant et sa réaction est neutre ou alcaline. L'existence de ce milieu liquide et alcalin semble nécessaire à la contractilité; en effet, un muscle dans lequel on injecte un liquide même légèrement acide, perd la faculté de se contracter.

Le suc musculaire alcalin du muscle au repos contient de l'oxygène, de la créatine, de la créatinine et autres substances analogues, qui sont des produits d'oxydation des albuminoïdes (1). On y trouve aussi du sucre, de l'acide lactique et de la potasse. C'est cette dernière substance qui donne au suc musculaire sa réaction alcaline.

(1) Cl. Bernard, *loc. cit.*, p. 226, 227, 170.

A mesure qu'un muscle se fatigue, sa réaction devient de moins en moins alcaline et enfin elle passe à l'acidité. En même temps, le muscle fournit une quantité de plus en plus grande de substances solubles. D'après Helmholtz, il y aurait dans un muscle fatigué 0,73 pour 100 de parties solubles dans l'eau, il y en aurait 0,65 seulement dans un muscle reposé.

Quelques heures après la mort, le muscle devient rigide. Il est dit alors en état de roideur cadavérique, ce qui semble dû à la coagulation spontanée de la substance contractile ou syntonine; car on provoque l'état rigide en plongeant un muscle dans un liquide à 45 degrés (1).

Au début, on peut encore faire disparaître la rigidité en faisant passer dans les vaisseaux un courant sanguin.

Comme le muscle en rigidité cadavérique offre le plus souvent une réaction acide due à de l'acide lactique, on a cru que la coagulation de la syntonine était due à la présence de cet acide; mais Cl. Bernard a vu, sur des écrevisses, les muscles de la queue en état de rigidité cadavérique, quoiqu'ils offrissent encore une réaction alcaline. Enfin il a vu la réaction acide faire souvent défaut sur les cadavres d'animaux morts après une longue abstinence.

Nous avons déjà fait remarquer, que l'irritabilité musculaire est une propriété inhérente à l'élément musculaire et tout à fait distincte de l'excitant qui la met en jeu, sans en excepter le plus important de ces excitants, le système nerveux. Le fait se démontre, soit en tuant les fibres nerveuses excito-motrices, comme on le fait par le moyen du curare, par exemple, soit inversement, en abolissant la contractilité de la fibre, à l'aide de certaines substances qui n'agissent point sur les nerfs. Les poisons musculaires les plus usités sont le sulfocyanure de potas-

(1) *Ibid.*, p. 230.

sium, le sulfate de cuivre, le sulfate de mercure et aussi certains poisons organiques, qui agissent d'abord sur le tissu musculaire cardiaque, par exemple l'upas-tieuté, la digitaline, etc.

De ce qui précède il résulte qu'il n'y a pas de différence essentielle entre les contractions, quel que puisse être l'excitant qui les ait provoquées. Peu importe que cet excitant soit mécanique, chimique, physique ou physiologique. Mais il y a entre les muscles des différences individuelles : tous ne sont pas également sensibles aux mêmes excitants. Le contact d'une substance chimique irritante, une légère piqûre faite avec la pointe d'un scalpel, etc., déterminent la contraction de la plupart des muscles de la vie animale mis à nu. Les fibres lisses de l'estomac, de l'intestin, etc., paraissent au contraire plus sensibles aux variations de la température. Les fibres musculaires du dartos scrotal, des cordons testiculaires se contractent sous l'influence d'une brusque variation de la température en plus ou en moins. Les tuniques à fibres lisses de l'estomac, de l'intestin, semblent en quelque sorte ressusciter sous l'influence d'une élévation de la température. En effet, si l'on plonge dans une atmosphère de vapeur chaude un animal qui vient de mourir, on voit, quand le cadavre est réchauffé à 20 degrés, l'estomac et les intestins exécuter, pendant une demi-heure et même une heure, des mouvements péristaltiques (1).

La lumière, qui semble avoir peu ou point d'action sur la presque totalité des muscles, impressionne, au contraire, les fibres contractiles de l'iris, directement et sans le secours d'une action réflexe. Ainsi, deux et même trois jours après la mort, l'iris des anguilles se contracte encore sous l'influence des rayons lumineux, pourvu

(1) Cl. Bernard, *loc. cit.*, p. 189, 190.

qu'on ait eu soin d'humecter l'œil et de prévenir ainsi sa dessiccation.

Mais l'excitant physique le plus important, celui qui agit le plus sûrement et sur les fibres lisses et sur les fibres striées, c'est l'électricité. Quant un muscle est maintenu dans des conditions convenables d'humidité, de température, de milieu, il se contracte sous l'influence des courants électriques continus et des courants iaduits, à interruptions fréquentes. C'est à l'aide d'un faible courant continu qu'Helmholtz a autrefois déterminé la durée des contractions musculaires au moyen d'expériences fort simples, qui eurent alors une certaine notoriété. Il faisait passer par un muscle de grenouille détaché de l'animal un courant, qu'interrompait le fait même de la contraction. Un galvanomètre permettait d'apprécier dans une certaine mesure la durée des différentes phases de la contraction. La durée totale de la contraction était dans ces conditions de 0″, 305 et se décomposait en trois parties. Dans une première phase, qu'Helmholtz appelle *la pose* et qui durait 0″,20, il n'y avait point d'effet appréciable. L'action de l'électricité sur la fibre musculaire n'est donc pas instantanée. A cette période d'incubation succédait la contraction ; elle durait 0″,180, en augmentant graduellement d'intensité, enfin venait une période de relâchement de 0″,105. Si les contractions sont ainsi réitérées un certain nombre de fois, le muscle se fatigue, s'épuise, il se contracte avec une force graduellement décroissante et la durée des périodes de relâchement s'allonge de plus en plus.

Le courant électrique semble agir sur la fibre musculaire, en déterminant en elle un changement d'état moléculaire. En effet, si le courant passe durant un certain temps sans interruptions, on voit le muscle se contracter spécialement au commencement du passage du courant et

au moment de son interruption. Au contraire les courants induits provoquent une contraction permanente. Avec un courant induit à 32 interruptions par seconde, Helmholtz a obtenu la contraction tétanique du muscle masséter.

Non-seulement la fibre musculaire se contracte sous l'influence de l'électricité, mais elle est elle-même une sorte de pile électrique, comme l'a découvert M. Dubis-Reymond. Si en effet, à l'aide d'un conducteur et d'un galvanomètre, on établit une communication entre un point de la surface d'une fibre musculaire et sa section, on voit qu'il y a courant électrique, allant de la surface extérieure à la section et que ce courant cesse durant la contraction de la fibre.

Ce fait s'observe indifféremment sur les fibres striées et sur les fibres lisses; seulement, suivant les observations de M. Dubois-Reymond, l'intensité du courant varie dans les divers muscles. Il semble donc certain que toute fibre musculaire est électrisée positivement à sa surface et négativement à son centre.

Au moment où le muscle entre en état de rigidité cadavérique, le courant s'intervertit; il cesse enfin quand la fibre commence à se décomposer.

De même le cœur d'une grenouille est électrisé positivement à sa pointe et négativement à sa base. Des phénomènes semblables s'observent d'ailleurs sur les fibres nerveuses et on en a noté d'analogues sur les fibres végétales. Nous nous bornerons ici à mentionner en passant ces faits curieux, dont aucune explication scientifique satisfaisante n'a encore été donnée (1).

De tous les excitants de la contractilité musculaire, que nous venons de passer en revue, il n'en est aucun qui égale en puissance l'excitant physiologique spécial, la

(1) Cl. Bernard, *loc. cit.*, p. 205, 207.

fibre nerveuse. Les excitants non physiologiques eux-mêmes agissent sur le muscle avec une énergie centuplée, quand ils empruntent l'intermédiaire des filets nerveux, qui se distribuent dans le muscle. Il résulte en effet des observations et des mesures de Matteucci, que, durant sa contraction, un muscle accomplit un travail mécanique au moins 27 000 fois plus fort que le travail chimique de la pile, d'où est résultée l'excitation du nerf (1). Or, chez les animaux complexes, tous les muscles reçoivent des fibres nerveuses, reliées au système nerveux central, et l'influence de ces centres nerveux sur les mouvements musculaires est d'autant plus grande que l'animal est plus parfait. Mais, pour se faire une idée des rapports du système musculaire et du système nerveux, il est indispensable d'étudier la dernière et la plus noble des propriétés générales de la matière organisée, c'est-à-dire l'innervation.

(1) Matteucci, *Théorie dynamique de la chaleur* (*Revue scientifique*, 1866, n° 51).

LIVRE VI

DE L'INNERVATION.

CHAPITRE I.

LE SYSTÈME NERVEUX DANS LA SÉRIE ZOOLOGIQUE.

Nous voici parvenus au plus haut degré de différenciation élémentaire de la matière organisée et aux propriétés les plus aristocratiques de cette matière. Toute substance vivante se nourrit. Certains éléments histologiques se nourrissent et se meuvent, se contractent. Certains autres, les éléments du tissu nerveux, possèdent, outre la propriété fondamentale de la nutrition, tout un groupe de propriétés spéciales. Ainsi, les cellules nerveuses peuvent exciter la contraction des éléments musculaires; elles ont de la *motricité*. De plus, elles ont conscience de l'action exercée sur elles par les milieux ambiants; elles ressentent de la douleur et du plaisir. Elles peuvent aussi, par l'intermédiaire des organes des sens, classer, trier les excitations portant sur les extrémités des fibres nerveuses, auxquelles elles sont anatomiquement reliées. Elles ont de la *sensibilité*. Enfin elles peuvent emmagasiner, combiner de mille manières les sensations perçues; elles peuvent *penser* et *vouloir*. C'est l'ensemble de ces propriétés maîtresses qui constitue l'*innervation*.

L'innervation est, comme on le voit, un tout fort complexe; aussi le tissu anatomique qui en est doué, et les systèmes que forme ce tissu, présentent-ils nombre de

variétés dans la structure et dans la forme. Chez certains êtres, l'innervation est rudimentaire; elle se réduit à la seule faculté d'exciter ou de relier entre eux les mouvements, c'est-à-dire à la *motricité*. Chez d'autres, la *sensibilité* se joint à la motricité. Enfin les animaux les plus parfaits possèdent à la fois *motricité, sensibilité, pensée,* d'ailleurs avec des degrés de perfection ou d'imperfection fort nombreux.

En négligeant provisoirement les variétés des éléments nerveux, nous pouvons considérer tout tissu, tout système nerveux comme réductibles à deux types histologiques. Invariablement, tout appareil nerveux est composé de fibres et de cellules. Toujours les fibres se continuent directement avec les cellules et toujours elles relient ces cellules à un organe moteur ou sensible. Nous aurons bientôt à décrire la forme et la fonction des diverses fibres et des diverses cellules nerveuses. Quant à présent, il nous suffira de noter que les premières sont surtout conductrices d'impressions ou d'incitations, tandis que les secondes agissent sur l'impression qui leur est transmise, soit pour la renvoyer, la réfléchir simplement d'une fibre sur une autre, soit pour la transformer en phénomènes de conscience. Enfin les cellules peuvent à leur tour devenir des centres d'excitation, et alors, sans l'intervention immédiate d'aucune impression extérieure, elles provoquent des mouvements ou combinent des pensées.

Comme tous les autres systèmes organiques, le système nerveux se complique, se perfectionne, se diversifie graduellement dans la série animale.

Nulle trace de système nerveux encore chez les rhizopodes, les éponges, chez les monères, les infusoires, à moins qu'avec quelques naturalistes romantiques on n'admette un tissu nerveux diffus, désagrégé ou plutôt point encore agrégé, des molécules nerveuses invisibles,

infuses et latentes dans une gangue vivante, non encore différenciée. Mais cela est de pure fantaisie. Point de système nerveux non plus chez les hydroïdes, les lucernaires, les anthozoaires. Chez les méduses, on rencontre déjà un anneau nerveux formé d'un cordon suivant le bord du disque et offrant de distance en distance des renflements cellulaires dits *ganglionnaires*. C'est déjà le schéma de tous les systèmes nerveux plus complexes et plus parfaits, que nous allons passer en revue, puisqu'il y a, même dans ce réseau si rudimentaire, des cordons conducteurs composés de fibres et des centres récepteurs et excitateurs composés de cellules. L'existence d'un système nerveux est problématique chez certains radiés. Il en existerait un chez les holothuries, savoir : un collier fibreux œsophagien émettant des rayons, qui porteraient quelques renflements ganglionnaires sur leur trajet.

M. de Quatrefages a trouvé, chez les planaires, un ganglion nerveux, situé sur la ligne médiane et formé de deux petites masses accolées.

Les rotifères ont aussi une masse ganglionnaire centrale située sur le pharynx. Cette masse, parfois divisée en deux portions, émet des filaments nerveux.

Dans les colonies de bryozoaires, chaque colon est pourvu d'un ganglion cérébroïde, et, en outre, comme l'a montré Fritz Müller, il y a un système de cordons reliant tous les ganglions individuels, c'est-à-dire un système nerveux colonial.

Les plathelminthes ont, à la partie antérieure du corps, deux masses nerveuses, relativement grandes, et réunies par une commissure fibreuse. La position de ces ganglions les a fait appeler *cérébraux*. La trompe passe comme dans un anneau entre les deux cordons de la commissure. De ces ganglions partent deux troncs fibreux longitudinaux, qui suivent les bords latéraux du corps et

sont pourvus de petits renflements ganglionnaires émettant des filaments nerveux (fig. 81).

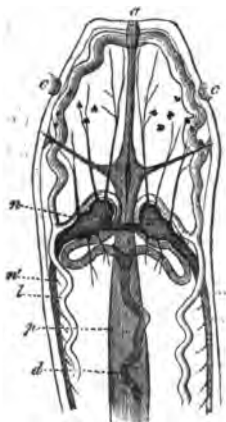


Fig. 81.
Extrémité antérieure du corps d'un némertien (*borlasia camilla*) : *a*, ouverture de la trompe; *p*, trompe; *c*, fossettes vibratiles; *n*, ganglion cervical; *n'*, système nerveux latéral; *l*, troncs sanguins latéraux, qui s'infléchissent en avant pour se réunir; avant cette réunion, ils envoient autour du cerveau une branche qui se réunit avec celle opposée pour former le vaisseau dorsal (*d*).

Ce système nerveux si simple est l'ébauche de celui de la plupart des invertébrés articulés (vers, annelés, arthropodes), surtout quand les cordons latéraux se rapprochent l'un de l'autre sur la face ventrale, comme il arrive chez quelques espèces.

Selon M. Blanchard, les nématoïdes (ascarides, strongles, filaires, etc.) ont à l'origine de l'œsophage quatre petits ganglions, situés deux à droite, deux à gauche, et reliés par des commissures formant collier œsophagien.

Ce collier œsophagien se retrouve chez tous les annelés et arthropodes, mais il est formé ordinairement d'une masse ganglionnaire sus-œsophagienne et d'une masse sous-œsophagienne, tantôt reliées par des commissures fibreuses, tantôt directement soudées ensemble. Du ganglion inférieur partent deux cordons abdominaux dirigés d'avant en arrière et portant chacun une série de ganglions, d'où rayonnent des filets nerveux. Les ganglions de chaque cordon sont d'ordinaire en regard l'un de l'autre et forment ainsi par leur juxtaposition des paires de centres nerveux, dont chacune correspond à un segment du corps (fig. 83). Si plusieurs segments se fondent ensemble dans le cours du dévelop-

pement, les ganglions nerveux correspondants font de même et constituent ainsi une masse nerveuse plus importante (1).

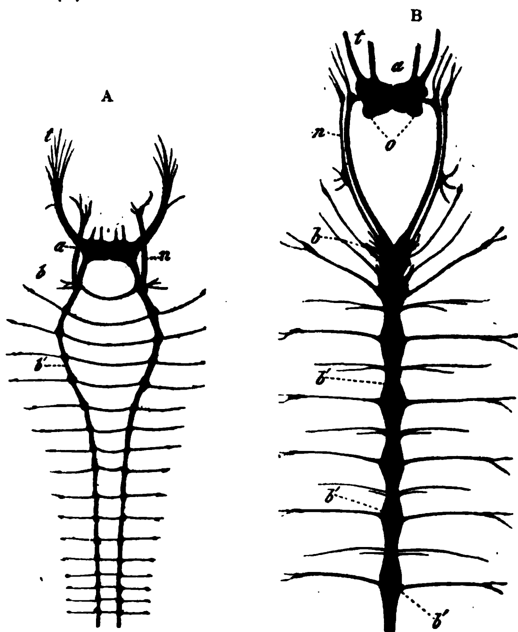


Fig. 82.

A, système nerveux de *serpula contortuplicata* : *a*, ganglions pharyngiens supérieurs ; *b*, inférieurs ; *b'*, tronc ventral ; *n*, nerfs de la bouche ; *t*, nerfs des antennes.

B, système nerveux de *nereis regia* : *o*, yeux reposant sur le ganglion œsophagien supérieur. Les autres désignations comme dans la figure précédente.

Le plus volumineux des ganglions est le plus antérieur, le ganglion sus-œsophagien. Il est dit *ganglion cérébral* ou *cérébroïde*, et il fournit d'ordinaire des nerfs à certains des organes des sens et régulièrement aux yeux.

(1) Gegenbaur, *loc. cit.*

Il est de règle que les ganglions et les cordons soient constitués presque exclusivement, les premiers par des cellules, les seconds par des fibres nerveuses.

Le corps des myriapodes et celui de la chenille ou larve des insectes étant formés de segments très-nombreux, le système nerveux de ces animaux est aussi très-

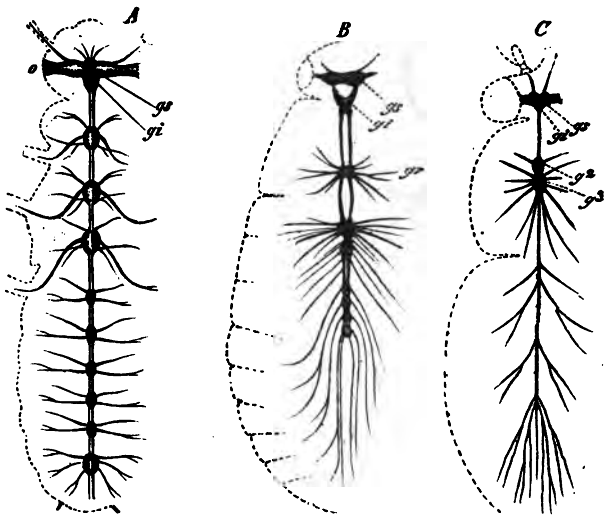


Fig. 83.

A, B, C, SYSTÈMES NERVEUX D'INSECTES.

A, *termes ;* B, coléoptère (*dytiscus*); C, mouche ; *gs*, ganglion œsophagien supérieur (ganglion cérébroïde); *gi*, ganglion œsophagien inférieur ; *gr*, g^2, g^3, ganglions soudés de la chaîne ventrale ; *o*, yeux.

richement pourvu de ganglions. Au contraire, une concentration, une coalescence des renflements nerveux a lieu chez les arachnides, chez les insectes (fig. 83), chez les crustacés. Le ganglion cérébral et la chaîne centrale de ces derniers se fusionnent même parfois en une masse unique d'où rayonnent les cordons nerveux (fig. 84). Cette masse est seulement divisée en deux parties par le trou,

l'anneau œsophagien (1). C'est un degré de concentration des cellules ganglionnaires plus grand, en quelque sorte, que chez les vertébrés eux-mêmes. C'est là encore un de

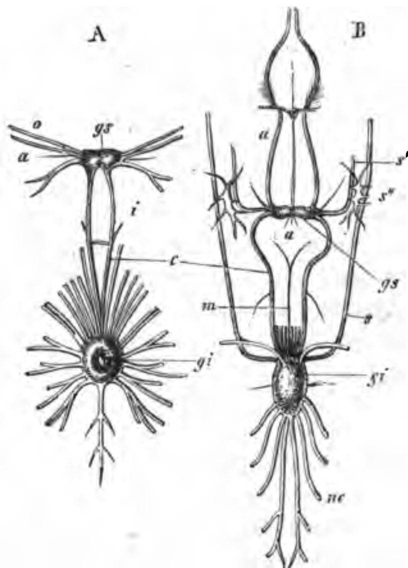


Fig. 84.

A, système nerveux d'un crabe *(carcinus mœnas)*; *gs*, ganglion cérébral; *o*, nerf oculaire; *a*, nerf des antennes; *c*, commissure œsophagienne; *i*, connexion transversale de la même commissure; *gi*, chaine ventrale fusionnée.

B, système nerveux d'un cirrhipède *(coronula diadema)* vu par la face ventrale: *gs*, *c*, *gi*, comme en A; *a*, nerfs antennaires, qui se distribuent sur le manteau et la coquille. Entre eux est situé le ganglion oculaire, en connexion avec le cerveau; *m*, nerf de l'estomac; *s*, nerf viscéral, qui s'unit dans un plexus *s''* avec un second nerf viscéral *s'*, venant de la partie antérieure de l'anneau œsophagien. Le ganglion abdominal émet en avant le premier cirrhe, et en arrière *(nc)* ceux des autres cirrhes.

ces faits paradoxaux, qui montrent combien sont peu absolues nos prétendues lois biologiques. La concentration

(1) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 348.

nerveuse, que nous sommes habitués à considérer comme l'un des signes, des moyens et des résultats du perfectionnement organique, se réalise chez les crustacés mieux encore que chez l'homme.

Pourtant il est une autre loi qui ne semble pas souffrir d'exception, c'est celle de la prédominance de plus en plus grande du ganglion cérébral à mesure que l'intelligence se développe. Une des raisons de ce développement est sûrement la perfection plus grande et le rôle plus important des organes des sens spéciaux, puisque certains crustacés, par exemple les amphipodes à grands yeux, ont un ganglion cérébral très-volumineux, lobé et émettant les nerfs optiques. De même et pour la même raison, les libellules à grands yeux, beaucoup de diptères, d'hyménoptères, les lépidoptères (fig. 85, *gs*), ont un fort ganglion cérébroïde (1). Pourtant le degré de développement intellectuel est étroitement lié au volume du ganglion cérébral. Le cerveau des araignées tisseuses, des fourmis, des abeilles, est remarquable par son volume et même par sa conformation. Quoique l'abeille soit beaucoup plus petite que le hanneton, elle possède un cerveau plus développé que le sien, et qui, si l'on tient compte de la différence de la taille, est relativement trois fois plus considérable. Le cerveau de la fourmi est proportionnellement plus grand encore. En outre, la surface de ces ganglions cérébroïdes si développés est mamelonnée; on y trouve des bourrelets, quelque chose d'analogue à ce que l'on appelle *circonvolutions* dans les cerveaux des vertébrés. Chez l'abeille, d'après Dujardin, le cerveau a une forme toute particulière. On y remarque un disque à stries étoilées, surmontant comme un capuchon le ganglion supérieur (2). D'après quelques expériences de M. Faivre,

(1) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 348.
(2) *Annales des sciences naturelles*, 1850.

le ganglion cérébral aurait, comme les hémisphères cérébraux des vertébrés, la propriété d'être insensible aux piqûres, aux lacérations (1).

Il faut noter déjà, chez beaucoup d'arthropodes, l'existence d'un réseau nerveux spécial, destiné au système digestif. Le plus souvent, ce système nerveux viscéral ou sympathique naît du ganglion cérébral par un tronc unique; puis il se ramifie, et ses branches sont, elles aussi, munies, sur leur trajet, de petits renflements ganglionnaires (fig. 85, *r*, *r'*). Dugès a vu ce système nerveux viscéral chez les araignées; Audouin et Edwards, etc., l'ont trouvé chez les crustacés; Lyonnet, Cuvier, Brandt ont constaté sa présence chez les insectes.

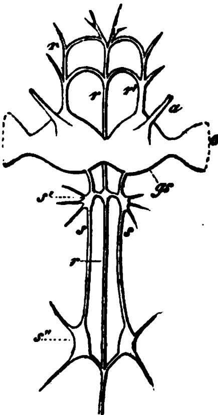


Fig. 85.
Ganglion œsophagien supérieur avec système nerveux viscéral d'un lépidoptère (*bombyx mori*) : *gs*, ganglion céphalique supérieur (cérébroïde); *a*, nerf antennaire; *o*, nerf optique; *r*, *tronc impair du système nerveux viscéral; r', ses racines naissant du ganglion œsophagien supérieur;* *s*, nerfs pairs avec leurs renflements ganglionnaires *s'*, *s''*.

Au fond, et en dépit de l'apparente irrégularité de sa disposition générale, le système nerveux des *mollusques* n'est qu'un calque de celui des arthropodes. Ici encore on retrouve l'anneau œsophagien, émettant de sa portion centrale un système nerveux périphérique ganglionnaire, se distribuant aux divers organes, mais sans régularité, sans symétrie, ainsi d'ailleurs que l'exige la conformation générale du corps. Le ganglion sus-œsophagien ou cérébral est naturellement petit chez les *lamellibranches,* qui n'ont point de tête pourvue d'organes des sens; il est, au contraire, très-grand, pour la raison inverse, chez les *céphalophores*.

(1) Faivre, *Annales des sciences naturelles,* 4e série, t. VIII et IX.

Le système nerveux viscéral des mollusques est, comme leur système nerveux général, une copie de celui des arthropodes.

Au contraire, le ganglion cérébral de certains céphalopodes se rapproche, à certains égards, du cerveau des vertébrés. Il existe, chez ces animaux, un cartilage céphalique formant une sorte de cavité crânienne, et creusé d'une fossette destinée à être occupée par le ganglion cérébroïde; ce cartilage forme une orbite ébauchée et loge les organes de l'ouïe.

Le ganglion sus-œsophagien des mollusques semble aussi avoir des fonctions spéciales. Si l'on enlève ce ganglion chez l'escargot, l'animal survit quatre ou cinq semaines à l'opération, mais en restant complétement immobile. Au contraire, l'extirpation du ganglion sous-œsophagien tue l'animal en vingt-quatre heures (1).

L'excitation du ganglion cérébroïde des mollusques produit peu ou point d'effets : il en est de même de sa galvanisation; mais il en va tout différemment pour le ganglion sous-œsophagien. Son irritation provoque une vive agitation musculaire; sa galvanisation par les courants continus a souvent pour effet d'arrêter le cœur dans son état de dilatation ou de diastole, ainsi que le fait la galvanisation des nerfs pneumogastriques chez les vertébrés.

Ces quelques faits tendraient à fortifier l'opinion des évolutionnistes allemands, qui veulent rattacher généalogiquement les vertébrés aux mollusques. Pourtant, si l'on ne tient compte que de la conformation et de la distribution générales du système nerveux, l'analogie, toute lointaine qu'elle est, existe plutôt entre arthropodes et vertébrés. En effet, le système nerveux des vertébrés acrâniens peut être, à la rigueur, considéré comme un sys-

(1) Vulpian, *Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux*, p. 757-761.

tème nerveux ganglionnaire très-coalescent. Le plus imparfait des vertébrés acrâniotes, l'*amphioxus*, n'a pour système nerveux central qu'une moelle épinière noueuse, c'est-à-dire offrant une série de renflements, dont chacun répond à l'origine d'une paire de nerfs. Un renflement, que l'on peut comparer au ganglion cérébroïde des arthropodes, termine en avant cette moelle épinière. Il ne diffère pas sensiblement des autres, mais émet cinq paires de nerfs, parmi lesquels les nerfs optiques et les nerfs auditifs.

La grande différence consiste dans l'absence complète d'anneau œsophagien. Chez le vertébré, ce n'est plus seulement le renflement cérébral, c'est tout le système nerveux central qui est au-dessus du système digestif. En disant que l'arthropode peut se comparer à un vertébré renversé, marchant sur le dos, on a cru faire disparaître la difficulté; mais on ne fait ainsi que la déplacer. En effet, en supposant que l'arthropode soit un vertébré renversé, on met bien la chaîne ganglionnaire sous-œsophagienne au-dessus du système digestif, mais à la condition de faire descendre au-dessous le ganglion sus-œsophagien, c'est-à-dire l'analogue du cerveau. Mieux vaut se résoudre, en dépit des théories hæckéliennes, encore un peu hasardées, à confesser que la généalogie des vertébrés est loin d'être élucidée.

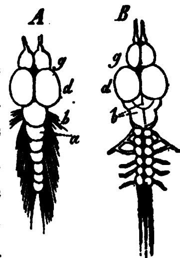


Fig. 86.

A, cerveau et moelle épinière d'*orthagoriscus mola*. B, cerveau et commencement de la moelle de *trigla adriatica*.

Quoi qu'il en soit, on ne saurait nier l'analogie de la moelle épinière des vertébrés crâniotes ou acrâniens avec la chaîne ganglionnaire des arthropodes. Des renflements rudimentaires existent encore, même chez l'homme, et, histologiquement et physiologiquement, la chaîne ganglionnaire des arthropodes, aussi bien que la

moelle épinière des vertébrés, sont des centres cellulaires doués d'une certaine somme d'indépendance.

Chez les vertébrés crâniotes, la moelle épinière aboutit, en avant, à une portion renflée, à un cerveau proprement dit. Mais, ici encore, la transition est ménagée, et l'on passe sans trop de secousse du type acrânien au type crânien, même en comparant seulement les animaux adultes (fig. 86 et 87). Si l'on suit pas à pas l'évolution embryologique d'un vertébré supérieur quelconque, la transition est plus ménagée encore; car on voit les centres nerveux débuter par la forme acrânienne, puis revêtir peu à peu le type cérébral complet, en passant par des formes intermédiaires, très-analogues à celles qui persistent chez les poissons et chez les reptiles.

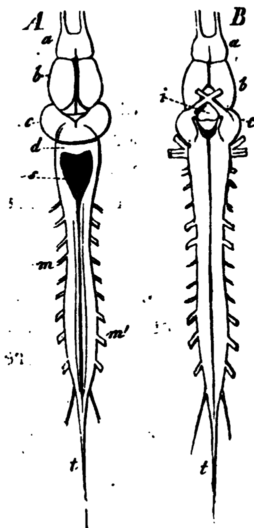


Fig. 87.

Cerveau et moelle de la grenouille : A, dessus ; B, dessous ; *a*, bulbes olfactifs ; *b*, cerveau antérieur ; *c*, cerveau moyen ; *d*, cerveau postérieur ; *e*, moelle allongée ; *i*, infundibulum ; *s*, fosse rhomboïdale ; *m*, moelle épinière ; *t*, son fil terminal.

Dans ces deux dernières classes, les centres nerveux encéphaliques sont représentés par une série de renflements vésiculiformes (fig. 86 et 87). De même, l'encéphale du vertébré supérieur se compose d'abord de cinq vésicules, que l'on a appelées, en allant successivement d'avant en arrière, ***cerveau antérieur***, ***cerveau intermédiaire***, ***cerveau moyen***, ***cerveau postérieur*** et ***cerveau terminal*** (fig. 88, 89, 90, 91). A la face inférieure du cerveau antérieur se relient les *bulbes* olfactifs, qui fournissent les nerfs de l'odorat (1).

(1) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 681-690.

Le cerveau antérieur se divise par une fissure antéro-postérieure en deux hémisphères, qui, grandissant toujours, deviendront la masse cérébrale principale, les hémisphères cérébraux, et recouvriront les autres renflements encéphaliques, d'autant plus que le vertébré sera plus intelligent.

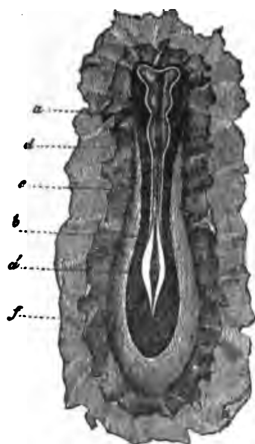


Fig. 88.
Embryon de chien vu de dos, avec ébauche du système nerveux central, dont la plaque médullaire(*b*) forme un sillon ouvert en dessus. Trois vésicules primitives (*a*) forment autant d'expansions ; la partie postérieure de la moelle s'élargit dans le sinus rhomboïdal (*a'*); *c*, plaques latérales limitant l'ébauche du corps ; *d*, feuillet germinatif externe et médian ; *f*, feuillet muqueux.

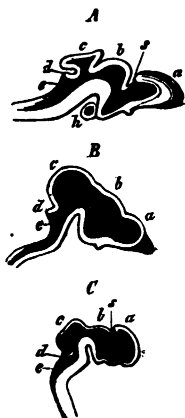


Fig. 89.
Coupes verticales à travers les cerveaux de quelques vertébrés : A, jeune *sélacien* (heptanchus) ; B, embryon de *couleuvre ;* C, embryon de *chèvre ;* *a*, cerveau antérieur ; *b*, cerveau intermédiaire ; *c*, cerveau moyen ; *d*, cerveau postérieur : *e*, cerveau terminal ; *s*, fente primitive ; *h*, hypophyse.

Le cerveau intermédiaire se partage aussi en deux masses, qui, comme nous le verrons tout à l'heure, jouent un rôle très-important dans le fonctionnement cérébral : ce sont les renflements ou *couches optiques*.

Le cerveau moyen se réduit de plus en plus et n'est

plus représenté dans le cerveau humain que par quatre petits tubercules dits *tubercules quadrijumeaux*.

Le cerveau postérieur devient le cervelet.

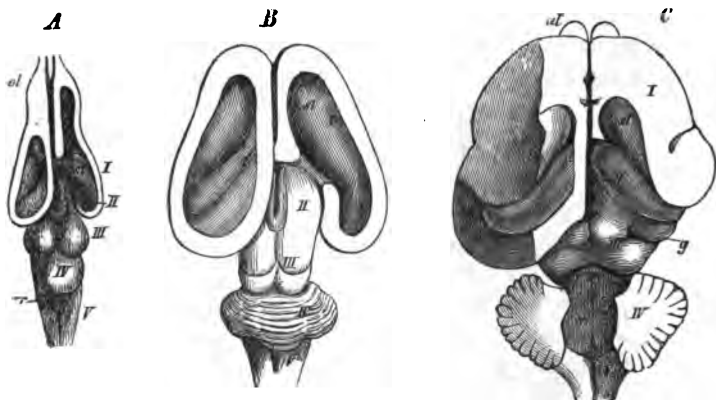


Fig. 90.

Différenciation du cerveau antérieur : A, cerveau de *tortue;* B, cerveau d'un fœtus de *veau;* C, cerveau d'un *chat*. En A et en B, on a enlevé à gauche le toit de la cavité du cerveau antérieur, et à droite la voûte à quatre piliers. En C, on a enlevé du côté droit toute la portion latérale et postérieure du cerveau antérieur, et à gauche suffisamment pour permettre d'apercevoir la courbure vers le bas de la corne d'Ammon. Dans toutes les figures, I représente le cerveau antérieur; II, l'intermédiaire; III, le moyen; IV, le cervelet; V, la moelle épinière; *ol,* le bulbe olfactif (sa communication avec la cavité cérébrale figurée en A); *st,* corps strié; *f,* voûte à quatre piliers; *h,* grand pied de l'hippocampe; *sr,* sinus rhomboïdal; *g,* protubérance géniculée.

La surface des hémisphères cérébraux, d'abord complétement lisse chez l'embryon des vertébrés supérieurs et chez les vertébrés inférieurs (marsupiaux, édentés, etc.), se plisse peu à peu en raison du progrès évolutif ou hiérarchique. Chez la plupart des mammifères, elle est modelée en cordons sinueux, hémicylindroïdes, juxtaposés, appelés *circonvolutions cérébrales* (fig. 92).

Les circonvolutions, rassemblées toujours en groupes réguliers, sont ordinairement d'autant plus flexueuses,

d'autant plus compliquées que l'animal est plus intelligent. Elles sont, par exemple, très-richement développées chez l'éléphant, les singes anthropoïdes, l'homme (fig. 92, C, C). Mais, ici encore, il y a des exceptions, et les hémisphères cérébraux du castor, comme ceux de tous les rongeurs, par exemple, sont presque lisses, tandis qu'il existe chez le mouton un système de circouvolutions assez complexe.

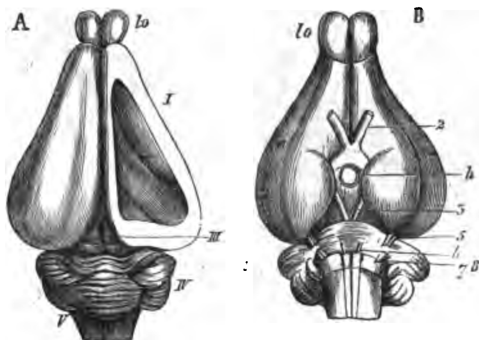


Fig. 91.

Cerveau de lapin : A, dessus ; B, dessous ; *lo*, lobe olfactif ; I, cerveau antérieur ; III, cerveau moyen ; IV, cerveau postérieur (cervelet) ; V, moelle allongée ; *h*, hypophyse ; 2, nerf optique ; 3, oculo-moteur ; 5, trijumeau ; *b*, nerf abducteur ; 7, 8, facial et acoustique. — En A, on a enlevé le toit de l'hémisphère droit, pour montrer l'intérieur du ventricule latéral, les corps striés qui s'y trouvent en avant et en arrière la voûte à quatre piliers avec le commencement du grand hippocampe.

Nous avons vu que, chez les arthropodes, le ganglion cérébroïde avait le privilége de fournir toujours les nerfs optiques, parfois d'autres nerfs des sens spéciaux. De même, chez le vertébré, les nerfs olfactifs, optiques, auditifs, gustatifs, en résumé tous les nerfs des sens spéciaux, ont leur centre originaire dans l'encéphale (*couches optiques*), c'est-à-dire dans le grand centre nerveux conscient (fig. 93). La plupart des autres branches nerveuses ont leur origine au moins apparente dans la moelle épinière.

Comme les arthropodes et les mollusques, les vertébrés ont un réseau nerveux spécial pour les appareils de la vie végétative. Ce réseau a été appelé dans son ensemble

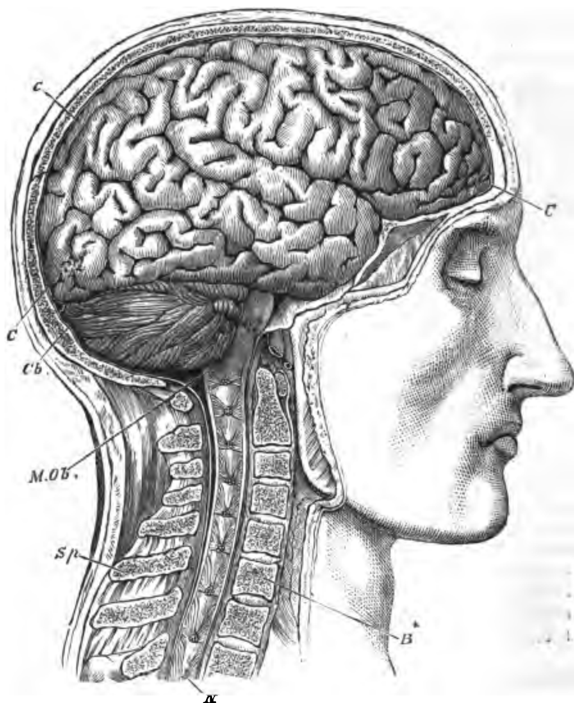


Fig. 92.

Vue de profil du cerveau et de la moelle épinière; les parties qui recouvrent les centres spinaux ont été enlevées : *C*, *C*, circonvolutions ou plis de l'hémisphère droit du cerveau ; *Cb*, cervelet ; *MOb*, moelle allongée ; *B*, corps des vertèbres cervicales ; *Sp*, leurs épines ; *N*, moelle épinière avec les nerfs spinaux.

système nerveux sympathique, et force nous est, pour l'intelligence de ce qui va suivre, d'en donner une description succincte.

Ici encore, il n'y a pas de différence essentielle entre les invertébrés supérieurs et les vertébrés. Les dissemblances portent sur la disposition extérieure, sur la morphologie. En somme, chez les invertébrés et chez les vertébrés, il y a un réseau nerveux spécial destiné aux organes, systèmes et appareils de la vie végétative, savoir : au tube digestif, aux organes respiratoires, au système circulatoire, aux organes génito-urinaires. Chez les uns et chez les autres, ce système a ses origines, ou du moins des racines, dans les grands centres nerveux. En suivant la distribution des rameaux sympathiques jusqu'à leurs dernières extrémités, on voit que leurs fibres se distribuent partout où il y a des éléments contractiles végétatifs, des fibro-cellules lisses. En dernière analyse, le grand sympathique peut être dénommé système nerveux des muscles végétatifs. Telle est du moins sa caractéristique physiologique. Nous verrons qu'histologiquement il est composé surtout de fibres nerveuses spéciales, comme le rôle qui leur est attribué. A ces fibres spéciales sont mêlées un petit nombre de fibres semblables à celles du système nerveux de la vie animale. Ces dernières sont vraisemblablement chargées de la fonction sensitive. Elles

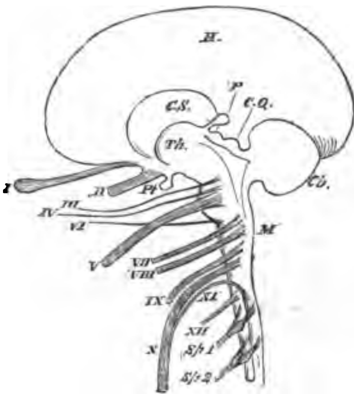


Fig. 93.

Diagramme montrant les rapports des régions du cerveau et l'origine des nerfs : *H*, hémisphères cérébraux; *CS*, corps strié; *Th*, couche optique; *P*, glande pinéale; *Pt*, corps pituitaire; *CQ*, tubercules quadrijumeaux; *Cb*, cervelet; *M*, moelle allongée; *I*, douze paires de nerfs rachidiens; *Sp*1, *Sp*2, première et seconde paire de nerfs rachidiens.

recueillent les impressions à la surface des muqueuses, etc.

Le réseau sympathique est remarquable, morphologiquement, par le très-grand nombre de renflements ganglionnaires qui existent sur ses plexus. Toujours, chez les vertébrés, il est relié aux centres nerveux, moelle épinière et cerveau, par de nombreuses racines. Ces racines se jettent dans des ganglions reliés entre eux par des cordons et d'où partent d'autres cordons ganglionnaires, qui vont former des lacis, des plexus compliqués sur les viscères.

Le système sympathique est peu développé chez les poissons; il semble même faire défaut chez les poissons les plus inférieurs et être remplacé par de simples ramifications intestinales.

Nous aurons à revenir sur les fonctions fort intéressantes du grand sympathique; mais, avant de passer outre, il importe d'exposer avec quelques détails la structure histologique des diverses parties du système nerveux et des divers types de systèmes nerveux, dont nous venons de donner une description morphologique générale.

CHAPITRE II.

DES CELLULES ET DES FIBRES NERVEUSES.

Tout système nerveux se résout, sous le microscope, en cellules et en fibres. Tous les cordons nerveux sont presque exclusivement composés de fibres; au contraire, les cellules existent en très-grand nombre dans toutes les parties renflées, dans toutes les masses centrales ou ganglionnaires des divers types de systèmes nerveux.

Quoiqu'il y ait diverses variétés de cellules et de fibres, comme les différences ne portent guère que sur les détails, il est possible de donner des unes et des autres une description générale.

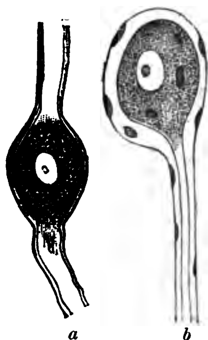


Fig. 94.
a, cellule nerveuse bipolaire du ganglion du nerf trijumeau de la truite, avec une gaine épaisse, un contenu granuleux, un noyau vésiculaire et un nucléole; *b*, cellule ganglionnaire unipolaire de l'homme avec une gaine épaisse faite de tissu conjonctif et contenant des noyaux.

Les cellules nerveuses sont des corpuscules de forme assez irrégulière, plus ou moins sphéroïdaux (fig. 94). Elles ont une paroi, un contenu, un noyau et un nucléole. Ce dernier, brillant et de couleur jaunâtre, est inclus dans un gros noyau transparent et sphérique, qui lui-même est entouré de toutes parts par une substance granuleuse et solide. D'ordinaire, une membrane cellulaire assez épaisse recouvre le tout. Suivant M. Ch. Robin, cette membrane ferait défaut aux cellules des centres nerveux des vertébrés supérieurs. Le diamètre des cellules

nerveuses varie considérablement; il est en moyenne de $0^{mm},020$ à $0^{mm},030$.

Les cellules nerveuses se continuent toujours avec une ou plusieurs fibres. Elles sont dites alors, suivant le nombre de ces prolongements fibreux, *unipolaires*, *bipolaires*, *multipolaires*. On a admis longtemps des cellules sans prolongement fibreux, *apolaires;* mais leur existence est fort problématique. Les cellules nerveuses ayant une teinte grisâtre, qu'elles doivent à leur contenu, les régions des centres nerveux, où elles sont rassemblées en grand nombre, ont la même couleur. Ainsi est constituée la *substance nerveuse grise*, que l'on trouve à la surface du cerveau et dans la partie centrale de la moelle épinière, chez les mammifères, etc., etc.

Les fibres nerveuses se continuent directement avec les cellules. Ce sont, en quelque sorte, des tentacules, que celles-ci projettent pour se relier aux autres organes.

La partie fondamentale de toute fibre nerveuse est un très-mince filament solide et flexible (fig. 96, *h*). Ce filament, appelé *cylinder axis, cylindraxe*, est chimiquement constitué par une substance azotée quaternaire. Il se continue directement avec le contenu granuleux de la cellule nerveuse. Ce filament est la partie vraiment essentielle de la fibre nerveuse ; il en est l'âme. C'est la portion conductrice, le fil télégraphique, qui met la cellule nerveuse en relation avec les autres organes.

Dans la fibre complète, le filament axile est enveloppé d'un manchon protecteur. Il occupe alors le centre d'un tube, d'une gaîne cylindrique, remplie d'une sorte d'huile visqueuse. Cette substance, que Kölliker a comparée à de la térébenthine, mais qui est plutôt de la famille des corps gras, est transparente. Comme tous les corps transparents riches en carbone, elle réfracte fortement la lumière. Aussi, sous le microscope, les fibres nerveuses à

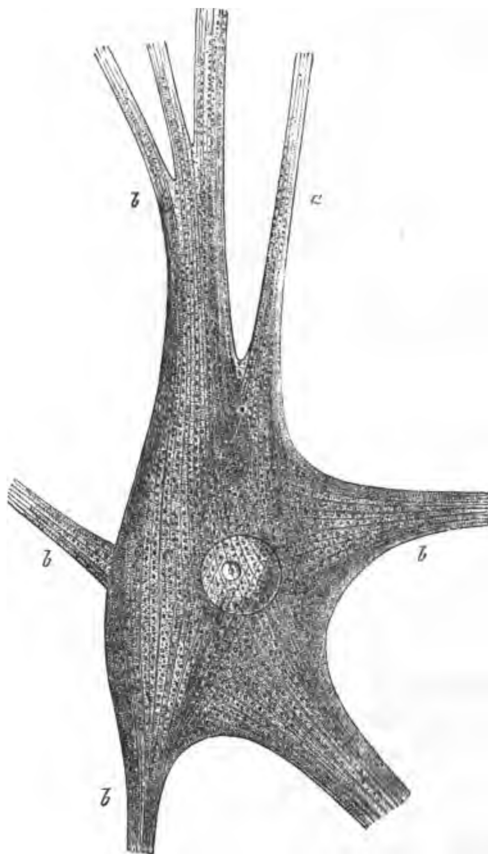


Fig. 95.

Cellule multipolaire ganglionnaire de la moelle épinière du bœuf avec un noyau arrondi et nucléole : *a*, cylindre-axe ; *b*, prolongements de la cellule finement striée et fibrillaire. — Très-fort grossissement.

manchon huileux semblent limitées par deux lignes foncées parallèles. On leur a donné, pour cette raison, le nom de *fibres à double contour* (fig. 96).

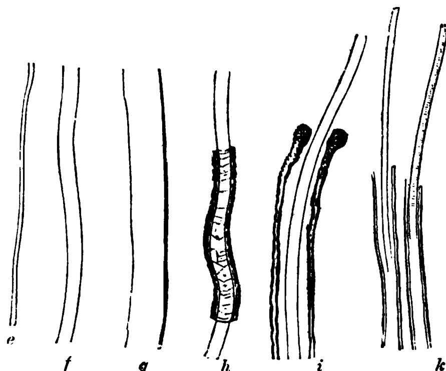


Fig. 96.

Fibres nerveuses grossies 350 fois : *e*, fibre fine ; *f*, fibre de moyenne grandeur ; *g*, fibre large, à bord foncé et à l'état frais, prise dans un nerf de lapin ; *h*, fibre de la moelle épinière de l'homme ; on y voit le cylindre-axe clair et la gaîne contractée ; *i*, fibre analogue du cerveau de l'homme ; *k*, passage de la fibre cérébrale fixe à la fibre engaînée, fibre prise dans le cerveau de la torpille.

Ce sont ces fibres qui, réunies en faisceaux et revêtues d'une enveloppe fibreuse commune, constituent tous les cordons nerveux, les nerfs proprement dits, du moins ceux de la vie animale, ceux qui chez l'homme et les vertébrés supérieurs se distribuent à la peau, aux organes des sens spéciaux, aux muscles. Vues à l'œil nu, toutes les régions ou portions de système nerveux où elles dominent sont blanches. Cette teinte blanche est due alors à la substance huileuse des fibres à double contour.

La physiologie a démontré que certaines de ces fibres servaient à transmettre aux muscles des excitations motrices, nées dans les centres nerveux ; que certaines autres, au contraire, portaient de la périphérie aux centres nerveux les excitations sensitives. Les premières ont été,

pour cela, appelées *fibres motrices*, les secondes *fibres sensitives*. Il n'y a d'ailleurs aucune différence anatomique tranchée entre ces deux ordres de fibres. Seulement, on observe sur le trajet des fibres sensitives, un peu avant leur arrivée dans les centres nerveux, un renflement ganglionnaire, une cellule nerveuse (fig. 97, *p*).

Dans la plupart des cordons nerveux, fibres motrices et fibres sensitives sont mêlées et confondues sous le névrilème commun. Il faut seulement faire exception pour les cordons nerveux, spécialement sensitifs, qui aboutissent aux organes des sens.

Nous avons vu que d'ordinaire les nerfs sensitifs spéciaux gagnaient directement le ganglion cérébroïde des invertébrés et le cerveau des vertébrés. Les autres, les nerfs mixtes, aboutissent, chez les arthropodes, aux ganglions de la chaîne abdominale, et chez les vertébrés, à la moelle épinière (fig. 97, *q* et fig. 99). Mais, dans ce dernier cas, les deux ordres de fibres se séparent un peu avant d'arriver à la moelle en une racine antérieure, cylindrique, et en une racine postérieure ganglionnaire, c'est-à-dire renflée en un point où se trouvent réunies les cellules de toutes les fibres sensitives du cordon nerveux (fig. 97).

C'est uniquement par la présence de ce renflement cellulaire sur un point de leur trajet que les fibres sensitives se distinguent des fibres motrices. D'une manière générale, elles semblent aussi être moins volumineuses, mais le diamètre des fibres nerveuses de tout ordre est chose fort variable.

Une troisième variété de fibres existe surtout dans les cordons du grand sympathique. Ce sont les fibres *grises, gélatiniformes* ou *de Remak*. Elles constituent la presque totalité de tous les cordons ou filets gris du grand sympathique, et sont, au contraire, rares ou absentes dans

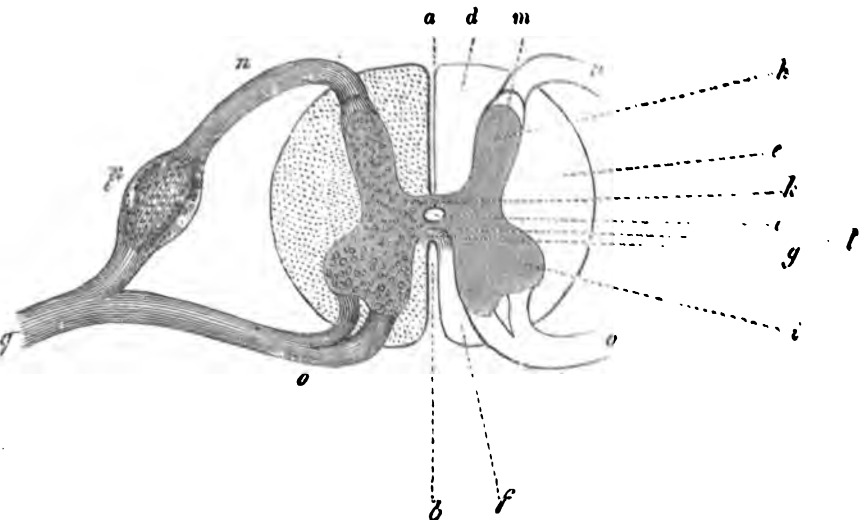


Fig. 97.

Coupe agrandie et schématique de la moelle épinière de l'homme au commencement de la région lombaire : *a*, sillon postérieur ; *b*, sillon antérieur ; *c*, canal central ; *d*, cordons postérieurs ; *e*, cordons latéraux ; *f*, cordons antérieurs ; *g*, commissure antérieure de la substance blanche ; *h*, cornes postérieures ; *i*, cornes antérieures ; *k*, commissure postérieure ; *l*, commissure antérieure de la substance grise ; *m*, substance gélatineuse ; *n*, racines postérieures, et *o*, racines antérieures des nerfs ; *p*, ganglion de la racine postérieure ; *q*, nerf mixte provenant de la réunion des deux racines.

les rameaux blancs du même système. Ces fibres sont minces (0mm,003), pâles, grisâtres, parsemées de fines granulations de même couleur, et même de noyaux elliptiques (fig. 98). Elles dominent dans les filets du grand sympathique, qui sont manifestement moteurs, et manquent dans les autres. Comme le remarque M. Ch. Robin, elles

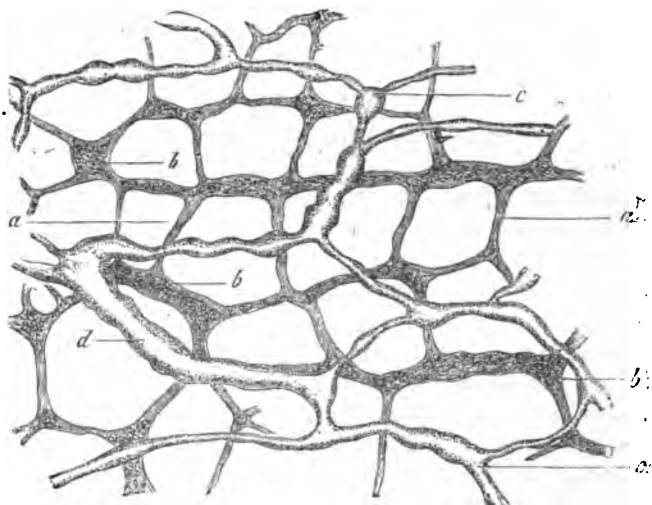


Fig. 98.

Réseau ganglionnaire de la membrane musculaire de l'intestin grêle du cochon-d'Inde ; *a*, réseau nerveux ; *b*, ganglions ; *c* et *d*, vaisseaux lymphatiques.

semblent être des fibres nerveuses fœtales. En effet, toutes les fibres blanches de la vie animale revêtent, dans la phase première de leur évolution histologique la forme de fibre gélatiniforme, et il en est de même des fibres, qui se régénèrent chez l'adulte, après une lésion. Suivant Remak, qui les a découvertes, les fibres gélatiniformes différeraient surtout des autres par l'absence d'enveloppe huileuse, de substance médullaire. D'ailleurs, elles seraient constituées aussi par un filament axile et une

enveloppe délicate; le défaut de manchon huileux serait la raison de leur couleur grise.

Ces divers degrés de perfection dans la structure de la fibre nerveuse, chez le vertébré, suggèrent naturellement l'idée d'une évolution. Sans doute, il faut un peu d'imagination pour retrouver, avec Hæckel, tous les chaînons généalogiques de l'homme jusqu'à la *gastrula*, c'est-à-dire à l'animal réduit à n'être plus qu'une simple poche digestive. Mais il est certain pourtant que, si l'on classe hiérarchiquement tous les types du règne animal, on voit, du bas en haut de l'échelle, la vie végétative s'adjoindre peu à peu la vie animale, qui, elle aussi, s'épanouit graduellement à son tour. Or, chez le vertébré supérieur, toutes ces phases ont laissé à demeure leur empreinte, sans même parler de l'évolution embryologique, qui les reproduit toutes en abrégé. Le mammifère supérieur est comme un résumé du règne entier. En lui sont réunis tous les tissus, tous les appareils épars dans la série; il a un système nerveux spécial, mais il conserve néanmoins une portion du système ganglionnaire des invertébrés, et, chez lui comme chez eux, ce système ganglionnaire est constitué surtout par des fibres gélatiniformes.

En effet, la fibre nerveuse à double contour n'est pas commune chez les invertébrés. Elle manque absolument chez les invertébrés inférieurs; elle apparaît, mais est rare encore chez les arthropodes; même le système nerveux des vertébrés inférieurs, des cyclostomes, est constitué surtout par des fibres granuleuses, enveloppées, d'une gaîne délicate, et dépourvues de manchon graisseux. Dans ce cas, comme dans beaucoup d'autres, se vérifie le dicton banal : *Natura non facit saltus*.

Il n'y a même point de saut brusque, de *hiatus*, entre les fibres grises et les fibres nerveuses à large diamètre. Le trait d'union est formé par les *tubes nerveux minces*.

Ce sont des fibres nerveuses à double contour, d'un diamètre beaucoup plus petit que celui des autres fibres. Elles semblent d'ailleurs être dévolues les unes à la motricité, les autres à la sensibilité; car certaines d'entre elles sont pourvues d'un renflement cellulaire, qui est aussi de petite dimension. Les tubes nerveux minces se rencontrent un peu partout dans le système nerveux; mais ils abondent surtout dans le grand sympathique; ce qui autorise encore plus à les considérer comme le premier stade de perfectionnement des fibres gélatiniformes.

Les fibres complètes, elles-mêmes, se dépouillent habituellement de leurs parties accessoires, dans leurs portions terminales, et, réduites alors à leur filet axile, elles se rapprochent beaucoup des fibres gélatiniformes.

Suivant de récentes recherches du docteur Luys, les cellules nerveuses et même leurs noyaux paraîtraient, à un fort grossissement, se dissocier en fibrilles intriquées (fig. 95); mais les observations du docteur Luys ayant été généralement faites sur des pièces durcies par l'acide chromique, il est possible que cette dissociation fibrillaire soit seulement le fait de l'agent chimique et, jusqu'à nouvel ordre, il est sage de considérer la cellule et la fibre nerveuse comme les éléments ultimes du tissu nerveux.

En résumé, tout système nerveux invertébré ou vertébré se résout en un nombre plus ou moins grand de cellules, et en un nombre plus ou moins grand de fibres, qui relient les cellules ou y aboutissent.

Les régions du système, où les cellules s'accumulent en grand nombre sont les centres nerveux; les parties presque uniquement composées de fibres forment les cordons nerveux, et si l'on embrasse, d'un coup d'œil, l'ensemble du règne, on voit que les centres cellulaires sont d'autant plus volumineux et d'autant moins nombreux, que l'animal est plus élevé dans la hiérarchie.

C'est chez le vertébré supérieur, et spécialement chez l'homme, que la concentration cellulaire atteint son maximum (fig. 92 et 93). C'est alors aussi que s'épanouissent dans toute leur plénitude les propriétés spéciales du système nerveux, la sensibilité, la motricité et la pensée.

Nous n'avons pas à décrire ici, dans leurs infinis détails, les centres nerveux des mammifères supérieurs. Il suffit de se les figurer schématiquement. La moelle épinière (fig. 97 et 99) est essentiellement une colonne de substance grise, c'est-à-dire de cellules multipolaires, émettant ou recevant trois ordres de fibres : des fibres sensitives, irradiées dans tous les organes et spécialement dans la peau ; des fibres motrices, partant des cellules pour aboutir aux muscles ; enfin des fibres intermédiaires, servant seulement à relier les cellules entre elles, à les solidariser, à faire de toute la substance grise de la moelle un tout consonnant, pouvant, dans une certaine mesure, vibrer à l'unisson.

Comme les nerfs mixtes se dissocient, avant d'arriver à la moelle, en faisceaux postérieurs ou sensitifs, en faisceaux antérieurs ou moteurs (fig. 97), on a considéré comme sensitives les cellules postérieures de la moelle épinière, qui reçoivent directement les fibres sensitives ; on a, au contraire, supposé motrices les cellules antérieures d'où partent les fibres motrices. On a noté en même temps que les cellules probablement sensitives sont de plus petites dimensions.

Mais les cellules de la moelle épinière ne sont pas seulement solidarisées entre elles ; elles le sont aussi avec les cellules cérébrales. En ce qui concerne les relations anatomiques de la moelle épinière et du cerveau, et aussi la répartition, dans l'encéphale, des cellules et des fibres, nous sommes redevables aux beaux travaux du docteur Luys, d'une vue d'ensemble aussi simple que séduisante (1).

(1) J. Luys, *Rech. sur le syst. nerv. cérébro-spinal.* Paris, 1865.

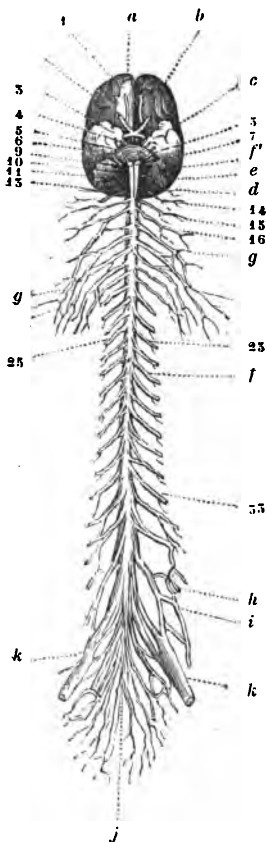


Fig. 99.

Système nerveux central de l'homme vu par la face ventrale : *a,* cerveau ; *b,* lobe antérieur du cerveau ; *c,* lobe moyen ; *d,* lobe postérieur recouvert à peu près par le cervelet; *e,* cervelet ; *f'*, moelle allongée ; *f*, moelle épinière; 1, nerf olfactif; 2, nerf optique; 3, nerf oculo-moteur; 4, nerf pathétique; 5, nerf trijumeau; 6, nerf abducteur de l'œil; 7, nerf facial et nerf auditif; 9, nerf glosso-pharyngien; 10, nerf pneumogastrique ou vague; 11, nerf accessoire et nerf hypoglosse; 13 à 16, les quatre premiers nerfs cervicaux; *g,* nerfs du cou formant le plexus brachial; 25, nerfs dorsaux; 33, nerfs lombaires; *h,* nerfs lombaires et sciatiques se réunissant pour former le plexus lombaire; *i,* les derniers nerfs formant ce qu'on appelle la queue de cheval; *j,* nerf terminal impair de la moelle épinière; *k,* nerf sciatique.

Suivant cet anatomiste, toutes les fibres sensitives de la moelle épinière, qu'elles aient ou non rencontré sur leur trajet les cellules de ce premier centre, aboutissent d'abord à deux amas de cellules situées à la partie inférieure du cerveau, aux *couches optiques* (fig. 93, *Th*). Puis, après avoir passé par ce centre secondaire, elles rayonnent vers la surface du cerveau, vers l'écorce grise des circonvolutions. Cette écorce est formée de nombreuses couches de cellules triangulaires, superposées par séries, comme des strates géologiques, ayant toutes leur sommet en haut, et toutes aussi reliées par des traits d'union fibreux.

Les fibres sensitives, irradiées des couches optiques, traversent de bas en haut toutes ces couches corticales, pour aboutir aux strates les plus superficielles, formées de cellules analogues par leur volume aux cellules sensitives de la moelle épinière.

Au-dessous de ces couches de petites cellules, on trouve des lits superposés de cellules de plus en plus volumineuses, à mesure qu'elles s'éloignent de la périphérie du cerveau. Les dernières strates, les plus profondes, seraient constituées par des cellules volumineuses, analogues aux cellules dites motrices de la moelle.

De ces dernières cellules partiraient des fibres descendantes, qui toutes convergeraient vers deux amas cellulaires, situés aussi vers la base du cerveau, dans le voisinage des couches optiques. Ces amas de substance grise cellulaire sont appelés en anatomie *corps striés* (fig. 93, *CS*).

Des corps striés partiraient des fibres descendantes, qui rencontreraient d'abord sur leur chemin les cellules motrices de la moelle épinière, puis, de là, rayonneraient dans les cordons et filets nerveux, de plus en plus ténus, pour aboutir enfin aux éléments contractiles, aux éléments du tissu musculaire.

On pourrait donc suivre pas à pas dans tout son trajet

anatomique et dans toutes ses métamorphoses physiologiques l'effet d'une impression subie par l'extrémité terminale d'une fibre nerveuse sensitive. Que, par exemple, un corps dur heurte violemment un point quelconque de l'enveloppe cutanée, les molécules des fibres nerveuses, brutalement touchées, entrent de proche en proche en vibration ; l'ébranlement se communique d'abord aux cellules de la moelle, puis à celles des couches optiques, puis aux cellules des circonvolutions cérébrales. Sans doute, cet ébranlement est modifié d'une façon d'ailleurs inconnue par son passage à travers ces centres cellulaires. Quoi qu'il en soit, en abordant les cellules superficielles des circonvolutions, l'ébranlement, la vibration, le mouvement moléculaire, quelle qu'en soit la forme, éveille dans ces cellules un phénomène tout spécial, un phénomène de conscience, une *sensation*. Mais nous ne sommes encore qu'à la moitié du circuit. Les cellules sensitives ébranlées communiquent à leur tour leur ébranlement aux strates cellulaires sous-jacentes. Ces dernières cellules, un peu plus grosses que les cellules superficielles ou sensitives, un peu moins grosses que les cellules profondes ou motrices, sont vraisemblablement les cellules *pensantes*. Chez elles, l'ébranlement moléculaire se transforme en idées. L'ensemble de ces cellules pensantes constitue l'âme de l'organisme. Elles se rendent compte des causes de la douleur, combinent les moyens d'en éviter le retour, et leur décision communiquée aux couches corticales les plus profondes s'y métamorphose en *volitions*. En effet, les cellules profondes des couches corticales sont motrices ou plutôt *volitives;* elles ordonnent les mouvements musculaires nécessaires pour éviter le retour du choc douloureux, pour parer au danger. L'ordre est transmis d'abord le long des fibres cérébrales convergentes, puis à travers les cellules des corps striés et

de la moelle épinière; enfin, par lès filets moteurs des cordons nerveux périphériques, cet ordre arrive aux muscles chargés de l'exécuter. Le cycle est alors complet et le froissement mécanique des extrémités de quelques fibres nerveuses sensibles a déterminé, comme une succession de détentes successives, une sensation, un raisonnement, une volition, des mouvements.

Telle est la série complète, mais elle n'est pas toujours aussi nette. L'une ou l'autre, même l'une et l'autre des deux premières périodes peuvent faire défaut. Cela dépend des organismes et même des organes. A coup sûr chacun des trois stades de cette circulation nerveuse mérite bien une petite étude particulière. Nous aurons donc à nous occuper de la motricité, de la sensibilité, de la pensée.

CHAPITRE III.

DE LA MOTRICITÉ.

Dans le cas que nous venons de citer à la fin du chapitre précédent, la série des phénomènes peut se résumer, malgré sa complexité, en une brève formule. Une excitation périphérique est transmise par des fibres nerveuses à des cellules multipolaires, qui la transforment et la renvoient sous forme d'incitations motrices le long d'autres filets nerveux. On peut comparer grossièrement la cellule nerveuse ébranlée à un miroir qui réfléchit un rayon incident. Mais, quand l'ébranlement se transmet à travers le cerveau, sa réflexion ne s'opère pas si simplement et, chemin faisant, il s'éveille des phénomènes tout spéciaux, des phénomènes conscients, psychiques. Il en est tout autrement, quand les centres nerveux conscients n'entrent point en jeu. Alors tout se passe silencieusement ; l'ébranlement moléculaire vient de la périphérie et y est renvoyé, sans que son va-et-vient soit perçu; il y a vraiment alors ce qu'on appelle en physiologie *une action réflexe*. Comme un très-grand nombre de phénomènes nerveux de tout ordre et de tout rang se peuvent ramener à de simples actions réflexes, il importe de parler avec quelques détails de ces actes primordiaux de la physiologie du système nerveux.

Trois cas principaux peuvent se présenter : le centre, qui est le siége de la réflexion motrice, est ou une simple cellule multipolaire, ou un centre nerveux ganglionnaire, ou la moelle épinière d'un vertébré.

Le premier cas s'observe chez certains protozoaires rudimentaires, là où le système nerveux est réduit à quelques cellules éparses, formant avec de rares fibres

nerveuses un réseau à peine perceptible. Le second se présente normalement et fréquemment chez quantité d'invertébrés à système nerveux ganglionnaire. Chez les vertébrés, c'est le mode ordinaire de fonctionnement du réseau nerveux sympathique. En effet, c'est en vertu d'actes réflexes inconscients, s'effectuant dans les ganglions sympathiques (fig. 100), que les incitations motrices sont transmises aux fibres lisses de l'intestin, de l'estomac, de la vessie, des vaisseaux sanguins; et, en résumé, presque tous les mouvements des appareils de la vie végétative chez les vertébrés s'opèrent en vertu d'actions réflexes ganglionnaires.

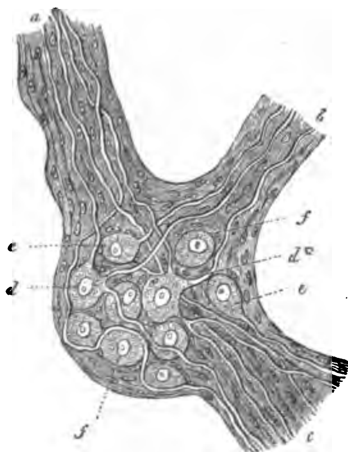


Fig. 100.

Ganglion périphérique d'un mammifère; dessin schématique : *a, b, c,* trois nerfs sortant du ganglion; *d,* cellules ganglionnaires multipolaires; *e,* cellules unipolaires; *f,* cellules apolaires.

Les cellules de la moelle épinière (fig. 101) ne semblent pas, quoi qu'on ait pu prétendre, douées de sensibilité consciente, mais elles n'en sont pas moins fort actives, et la moelle épinière doit être considérée comme un centre réflexe des plus importants, spécialement pour les muscles de la vie de relation. Elle tient en effet sous sa dépendance un très-grand nombre de muscles, qui lui doivent cette demi-contraction permanente qu'on appelle la *tonicité,* et qui est la raison de la constante contraction des sphincters, de celle des muscles antagonistes, etc. Ce tonus dépend si bien de la moelle épinière, qu'il est aboli instantané-

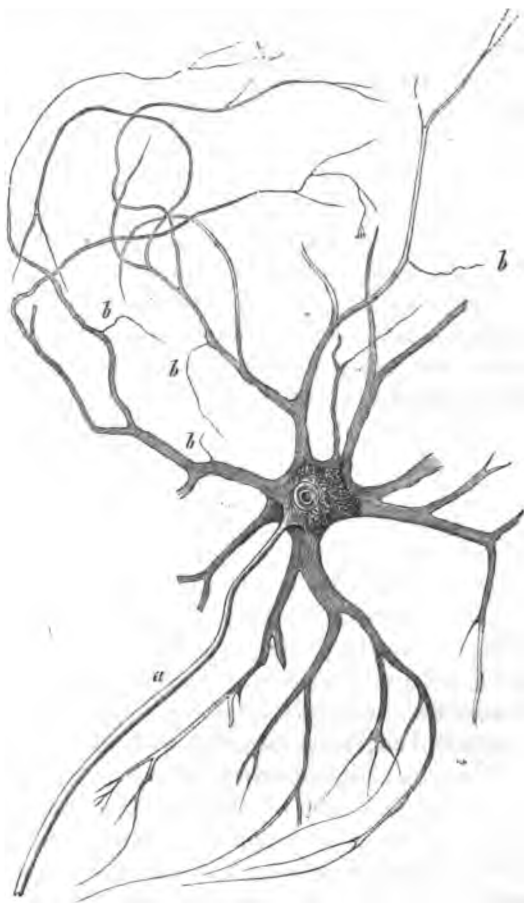


Fig. 101.

Cellule ganglionnaire multipolaire de la moelle épinière du bœuf : *a*, cylindre-axe; *b*, prolongements de la substance se terminant dans des fibres excessivement fines.

ment par la destruction de la moelle, où les nerfs des muscles indiqués puisent leur motricité. Le même effet s'obtient d'ailleurs par la simple section des nerfs sensitifs correspondants. Le tonus musculaire résulte donc d'une véritable action réflexe, où le cerveau ne participe nullement, puisque, par sa séparation d'avec l'encéphale, la moelle épinière, bien loin de perdre son pouvoir réflexe, le possède au contraire à un bien plus haut degré. Que l'on pince, par exemple, une patte de grenouille décapitée, aussitôt l'animal la retire avec beaucoup plus d'énergie qu'il ne le faisait dans son état d'intégrité. Si l'on pince avec plus de force, l'action réflexe s'irradie sur les autres membres. Sur une grenouille décapitée et empoisonnée par la strychnine, le plus léger contact d'un point quelconque de la peau détermine des mouvements convulsifs presque généraux, tandis que, sur l'animal entier, on peut parfois toucher le bout central d'un nerf coupé, sans exciter le moindre mouvement réflexe.

Sur beaucoup de vertébrés, la décapitation n'empêche nullement des mouvements réflexes, complexes et associés, ayant toute l'apparence de mouvements volontaires. Tout le monde a entendu parler des célèbres expériences de Flourens, si souvent répétées et variées depuis. Privé de ses hémisphères cérébraux, un pigeon vole encore, quand on le jette en l'air, avale du grain, quand on lui en met dans le bec, etc. L'expérience est d'autant plus frappante, que le vertébré est plus inférieur et a par conséquent moins de cerveau. Par exemple, un poisson sans cerveau nage tout comme un poisson normal. Que si l'on pince la peau près de l'orifice anal sur une grenouille décapitée, on voit les pieds postérieurs de l'animal se porter d'abord vers le point irrité, puis s'étendre brusquement, comme pour repousser l'agresseur. Si l'on pince latéralement la peau du tronçon postérieur d'un triton, lequel cependant

se compose seulement du tronc et des deux membres postérieurs, ce tronçon, aussitôt pincé, se recourbe latéralement, ainsi que ferait l'animal intact pour éloigner le point irrité du corps irritant (1).

Des faits analogues ont été observés par M. Ch. Robin sur le corps d'un homme décapité. « Le bras droit du supplicié, dit-il, se trouvant étendu obliquement sur le côté du tronc, la main à 25 centimètres en dehors de la hanche, je grattai la peau de la poitrine avec un scalpel, au niveau de l'auréole du mamelon, sur une étendue de 10 à 11 centimètres, sans intéresser les muscles sous-jacents. Nous vîmes aussitôt le grand pectoral, le biceps, puis le brachial antérieur et les muscles couvrant l'épitrochlée se contracter successivement et rapidement. Le résultat fut un mouvement de rapprochement de tout le bras vers le tronc, avec rotation du bras en dedans et demi-flexion de l'avant-bras sur le bras, véritable mouvement de défense, qui projette la main du côté de la poitrine jusqu'au creux de l'estomac (2). »

C'est bien la substance grise, c'est-à-dire cellulaire, de la moelle, qui sert de centre à ces actes réflexes ; car il faut et il suffit que cette substance existe pour que les actes réflexes se produisent. Après avoir fait deux hémisections presque complètes de la moelle, van Deen obtenait encore des actions réflexes des quatre membres. Nous avons vu le professeur Schiff interrompre par plusieurs hémisections alternées la continuité de la substance blanche de la moelle sur un chat, ce qui n'empêchait point d'obtenir encore des contractions de l'iris, en pinçant la queue de l'animal.

Comme l'ont si bien démontré les célèbres expériences

(1) Vulpian, *Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux*, p. 417.

(2) Ch. Robin, *Journal de physiologie*. Paris, 1869.

de Legallois, les diverses régions de la moelle correspondent chacune à une région spéciale du corps. Elles ont une certaine indépendance et, après une section, peuvent vivre longtemps en conservant leur excitabilité réflexe, pourvu que leur circulation capillaire ne soit pas entravée. Cette sorte de fédération des diverses régions de la moelle épinière confirme l'opinion, qui veut faire de ce centre nerveux des vertébrés une chaîne ganglionnaire fusionnée.

On sait d'ailleurs qu'en dehors de toute vivisection, il y a dans la moelle des centres fonctionnels normaux. Tel est le *nœud vital* des vertébrés supérieurs, ce point de quelques millimètres d'épaisseur, situé à l'origine de la moelle, et dont la destruction a pour résultat une mort instantanée, due à l'abolition des mouvements musculaires respiratoires. Tel est encore le centre cilio-spinal, situé à la hauteur des deux premières racines nerveuses de la moelle dorsale et tenant sous sa dépendance presque toute la circulation capillaire de la tête. Tel est enfin le centre génito-spinal situé à la région lombaire chez l'homme.

Comme tous les tissus, le tissu nerveux ne fonctionne qu'à la condition de se nourrir ; aussi sa vitalité est-elle étroitement dépendante de l'intégrité de la circulation sanguine entre ses éléments. Mais, plus que tous les autres tissus, il est intermittent dans son mode de fonctionner. Une forte dépense de motricité épuise, pour un temps, les nerfs et la moelle. Pour eux, comme pour les muscles, on a constaté que leur réaction chimique, neutre à l'état de repos, devient acide après le travail.

En résumé, la moelle épinière est un centre nerveux inconscient, un grand foyer d'actes réflexes. Elle tient vraisemblablement sous sa dépendance quantité de mouvements associés, concertés en apparence, mais qui, en réalité, s'effectuent le plus souvent sans l'intervention des centres conscients, des centres cérébraux. C'est pourquoi

les petits de beaucoup de vertébrés marchent en naissant, alors que les hémisphères cérébraux fonctionnent peu ou point et, dans tous les cas, ne sauraient ordonner avec conscience des mouvements compliqués, que le jeune animal n'a pas appris à exécuter.

Le cerveau est, au contraire, chargé d'accomplir des actes réflexes d'un autre ordre, qui souvent troublent dans leur exécution les actes inconscients de la moelle. C'est pourquoi ce dernier centre nerveux fonctionne avec plus d'énergie et est plus excitable, alors que, par une vivisection, il a été en quelque sorte délivré de l'intervention de son mobile voisin.

CHAPITRE IV.

PROPRIÉTÉS DES FIBRES NERVEUSES.

Que l'élément cellulaire soit, dans tout tissu nerveux, l'agent important, celui qui assume le rôle principal, cela est hors de doute ; pourtant ce serait se faire une idée incomplète de la fibre nerveuse que d'y voir seulement un fil conducteur, qui serait moteur ou sensitif indifféremment et seulement en raison de ses attaches terminales. Ce n'est point, par exemple, parce que le nerf optique aboutit à l'œil, qu'il transmet ou éveille seulement des sensations visuelles, puisque, après la section de ce nerf, toute excitation portée sur son bout central provoque dans les centres nerveux exclusivement des sensations spéciales. Il faut donc accorder aux divers ordres de filets nerveux des propriétés propres, inhérentes à leur structure même, ou plutôt à leur constitution moléculaire. Cette diversité se décèle encore par la manière dont meurent les fibres nerveuses. Chaque ordre de fibres a son genre de mort particulier. Si, par exemple, on tue les nerfs en abolissant la circulation, on voit l'élément sensitif mourir le premier et en perdant ses propriétés de la périphérie au centre. Puis l'élément moteur succombe, mais du centre à la périphérie. Le centre fonctionnel et nutritif de la fibre motrice est donc la cellule, à laquelle il aboutit. Le fait se démontre plus clairement encore par la section d'un nerf moteur. On voit alors, comme dans le cas d'abolition de la circulation, ce nerf mourir du centre à la périphérie. Pour obtenir des mouvements en excitant le nerf coupé, il faut en effet faire porter l'excitation sur un point de plus en plus voisin des extrémités terminales,

jusqu'à ce que l'on arrive aux muscles eux-mêmes. Cette abolition graduelle de la motricité correspond, dans ce cas, à une altération appréciable dans la constitution du nerf, c'est-à-dire à une coagulation progressive de la substance médullaire, de la myéline de la fibre nerveuse. Mais, tandis que le tronçon périphérique du nerf meurt ainsi de proche en proche, le bout central, qui est toujours en continuité avec la cellule centrale, vit intact et conservant toutes ses propriétés.

Comment s'exerce cette curieuse influence de la cellule centrale sur la fibre? Quel est, au fond, le caractère des ébranlements moléculaires transmis par la cellule centrale à la fibre motrice? Ce sont là des questions qui attendent encore une réponse. Quoiqu'il se produise de l'électricité dans le tissu nerveux comme dans tout tissu vivant, il n'est pas vraisemblable que l'ébranlement moléculaire, qui court le long des fibres motrices, soit de nature électrique. En effet, une simple ligature placée sur son trajet suffit à l'arrêter absolument, en désorganisant la fibre nerveuse sur un seul point, tandis qu'elle ne s'oppose nullement au passage d'un courant électrique. Enfin la vitesse de propagation de l'excitation motrice le long d'un nerf est extrêmement lente. Il résulte en effet des expériences de Helmholtz, de Dubois-Reymond, etc., etc., que dans un nerf moteur d'animal à sang chaud, cette vitesse est seulement de 50 à 60 mètres par seconde. Dans un nerf refroidi à zéro, elle diminue des neuf dixièmes, et l'on peut même arrêter toute conductibilité dans un nerf sciatique de grenouille, en faisant une application de glace en un point de ce tronc nerveux (1). Après cela, il est fort naturel de voir la vitesse de transmission nerveuse se ralentir chez les animaux à sang froid, dont

(1) E. Onimus, *De la théorie dynamique de la chaleur dans les sciences biologiques*. Paris, 1866, p. 70.

la température est à la fois moins haute et plus variable que celle des animaux à sang chaud. En effet, chez la grenouille par exemple, cette vitesse ne dépasse pas 15 à 20 mètres à la seconde.

Si nous ignorons encore ce qu'est, dans son essence, la vibration moléculaire appelée autrefois *influx nerveux*, nous ne sommes pas mieux renseignés sur la manière dont cette vibration se transmet aux éléments contractiles musculaires. Par quel mécanisme les fibres nerveuses dissociées, dépouillées de leur enveloppe protectrice, alors qu'elles se sont insinuées entre les fibres musculaires de la vie animale, entre les fibro-cellules des vaisseaux sanguins et des appareils de la vie nutritive, parviennent-elles à modifier l'état de ces éléments, à déterminer leur contraction, et cela avec une énergie beaucoup plus grande que ne le ferait une excitation portant sur l'élément contractile lui-même ? Encore un problème non résolu à ajouter à tant d'autres.

Dans la plupart des questions se rapportant au mode intime de vivre et de fonctionner du tissu nerveux, il faut ainsi se résigner à enregistrer les faits bruts, sans en pouvoir donner une explication satisfaisante. Si les physiologistes ne savent nous dire pourquoi la cellule nerveuse excite la fibre motrice, comment celle-ci transmet cette excitation à la fibre musculaire, ils ne peuvent non plus expliquer, comment le curare tue spécialement la fibre nerveuse motrice, en respectant la fibre sensitive. A coup sûr, c'est là encore une preuve d'une diversité bien radicale entre ces deux ordres de conducteurs nerveux.

Le wourara ou curare, dont les Indiens sauvages de l'Amérique méridionale se servent pour empoisonner leurs flèches, a en effet la très-curieuse propriété de trier en quelque sorte les fibres nerveuses motrices. Une fois charrié dans le système circulatoire d'un vertébré quel-

conque et à très-faible dose, il frappe de paralysie tout le réseau moteur, en laissant parfaitement indemne tout le réseau sensitif. Son action se décèle tout d'abord par des légers mouvements convulsifs, suivis bientôt de l'abolition progressive de tous les mouvements de la vie de relation. L'effet du curare, tout en étant plus manifeste et plus prompt chez les vertébrés, ne leur est pourtant pas spécial. Le curare en effet agit aussi sur les larves aquatiques d'insectes, sur des naïdes, sur des mollusques, mais lentement. Il ne produirait pas d'effet appréciable chez les planaires, les astéries, les polypes d'eau douce (1). En résumé, c'est surtout sur les fibres blanches de la vie animale que son action est prompte et sûre. Les fibres gélatiniformes lui résistent mieux. Chez l'homme même, le nerf sympathique est difficilement atteint, et les organes qui, comme le cœur, reçoivent simultanément des fibres blanches et des fibres grises sont frappés les derniers. Comme la différence capitale entre les fibres blanches et celles de Remak semble consister surtout dans la présence d'un manchon de myéline chez les premières, dans l'absence de ce manchon chez les autres, on serait tenté de croire que le curare agit spécialement sur cette substance médullaire; mais dans ce cas, comme dans la plupart des phénomènes biologiques, les conditions sont trop complexes pour se prêter facilement à des explications si simples. En effet, c'est de la périphérie au centre que se fait l'intoxication du nerf par le curare; ce sont les extrémités périphériques du nerf qui sont frappées tout d'abord, et peut-être uniquement, puisqu'un nerf moteur séparé de la moelle par une section est encore empoisonné par le sang curarisé baignant ses extrémités (2). Or, précisément, en pénétrant dans les muscles, les fibres

(1) Vulpian, *loc. cit.*, p. 201.
(2) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès de la physiologie*, p. 19.

nerveuses motrices se dépouillent de leur enveloppe huileuse et revêtent dans une certaine mesure l'aspect des fibres de Remak. On a supposé que le curare ne provoquait pas dans la fibre nerveuse de lésions profondes. En effet, comme la fibre musculaire, comme certaines fibres végétales, la fibre nerveuse vivante produit un courant électrique allant de la surface à son centre de section ; or la fibre nerveuse, tuée physiologiquement par le curare, est encore le siége des phénomènes électriques ordinaires ; par conséquent, la vie ne l'a point quittée et l'échange nutritif s'y effectue toujours. Il faut donc admettre ici ou de délicates et invisibles perturbations moléculaires, ou peut-être une simple dépression dans l'énergie nutritive, suffisante pour abolir la fonction spéciale, mais n'atteignant pas encore la base fondamentale de la vie.

Nous ne pouvons passer absolument sous silence les propriétés électriques des nerfs ; mais nous en parlerons brièvement. Il nous semble que l'on a accordé en physiologie à cette question secondaire une importance beaucoup trop grande. On s'est évidemment laissé entraîner trop loin par l'idée et par le désir d'établir un rapprochement entre l'agent électrique et l'agent nerveux. Mais toute identification entre ces deux forces ou plutôt entre ces deux modes de vibrations moléculaires est manifestement erronée. Les courants électriques mettent, il est vrai, en jeu et avec une grande énergie la motricité nerveuse ; mais quantité d'autres excitants mécaniques, physiques et chimiques en font autant.

Quant au courant électrique qui s'établit, comme l'a montré M. Dubois-Reymond, entre deux électrodes placés l'un à la surface externe d'un nerf, l'autre à sa surface de section, il n'est nullement spécial au tissu nerveux et toujours il s'établit de la surface externe à la section ; c'est simplement un résultat des actions chimiques nutri-

tives. Aussi apparaît-il indifféremment et de la même manière, que la fibre nerveuse soit motrice ou sensitive. Un nerf, qui vient d'être écrasé à coups de marteau et a perdu sa motricité, engendre néanmoins un courant électrique; car, en dépit de la violence de la lésion, qui a détruit la forme des fibres nerveuses, leur substance vit encore pendant quelque temps, ou du moins certaines parties de cette substance; par exemple, les gaînes nerveuses et le névrilème.

Pourtant un courant nerveux s'établit dans toute la longueur du nerf et est perceptible au galvanomètre, alors que l'on excite par un courant continu seulement une portion de ce nerf non comprise dans le circuit du galvanomètre. C'est ce que M. Dubois-Reymond a trop pompeusement appelé la *force électro-tonique* des nerfs. Cette faculté d'irradiation électrique est-elle spéciale aux fibres nerveuses, comme le veut M. Dubois-Reymond ? Il ne semble pas qu'on ait suffisamment cherché cette propriété prétendue spéciale dans les autres tissus fibreux, et Matteucci l'a constatée, avec plus de difficulté, il est vrai, dans une mèche de coton imbibée d'un liquide conducteur.

Quant à l'action de l'électricité sur les nerfs moteurs, elle offre aussi quelques particularités intéressantes.

En règle générale, tout courant interrompu ou tout fort courant continu appliqués sur un nerf moteur encore en relation avec les muscles provoquent une contraction musculaire continue, plus ou ou moins tétanique.

Au contraire, l'application d'un courant continu faible détermine une contraction au moment de la fermeture et une autre au moment de son ouverture. Dans l'intervalle, point d'effet appréciable (1).

Suivant M. Cl. Bernard, le courant agirait uniquement

(1) Vulpian, *loc. cit.*, p. 71-73.

en changeant brusquement l'état électrique du nerf. En effet, dans certains cas, l'électricité fait disparaître la contraction musculaire. La galvanisation du pneumogastrique arrête le cœur à l'état de dilatation, de diastole. La contraction tétanique d'une patte de grenouille, à la suite d'application de sel marin sur son nerf, cesse quand on met les deux pointes d'une pince galvanique sur le nerf lombaire. Enfin tous les médecins quelque peu au courant de l'électro-thérapeutique, savent que le passage d'un courant continu fait souvent, chez l'homme, disparaître instantanément la contracture de certains muscles. Nous avons eu, pour notre part, plusieurs fois occasion de vérifier ce fait intéressant.

Des excitations longues et très-fréquemment réitérées abolissent, au moins pour un temps, l'excitabilité du nerf; mais, si l'on a, par exemple, employé un courant continu, il suffit alors d'en renverser le sens pour réveiller cette contractilité épuisée, et l'expérience se peut renouveler plusieurs fois. Ces *alternatives voltaïques*, comme on les a appelées, montrent bien qu'il y a dans la motricité nerveuse quelque chose de tout à fait spécial et qu'il existe dans la constitution intime du filet axile une mobilité, une instabilité moléculaires, que ne possède aucun autre tissu.

La persistante vitalité du tissu nerveux fibrillaire n'est pas moins remarquable.

Un nerf abandonné à l'air libre s'y dessèche et perd promptement ses propriétés, mais, pendant un certain temps, il les peut recouvrer par une simple imbibition, à la manière dont revivent certains infusoires desséchés.

Si l'on sectionne les racines rachidiennes antérieures ou motrices d'un nerf mixte, le bout périphérique ne tarde pas à perdre sa motricité et il s'atrophie graduellement jusqu'à ses plus fines ramifications terminales. Si

l'on sectionne la racine postérieure ou sensitive au-dessus du ganglion, c'est le bout central qui s'atrophie.

Dans de telles conditions, les fibres nerveuses perdent leur excitabilité, chez les mammifères, au bout de quatre jours environ, tandis que l'irritabilité des muscles persiste près de trois mois. La structure de la fibre nerveuse est alors altérée, mais non point fondamentalement. En effet, le nerf a perdu seulement son enveloppe huileuse; mais son filet axile dure et persiste, intact en apparence, recouvert seulement par la gaîne de Schwann, flétrie et plissée autour de lui. Le professeur Schiff a trouvé le filament axile, intact encore, cinq mois après la section d'un nerf; M. Vulpian a vu la même chose après six mois. Mais les choses ne restent point dans cet état. Au bout d'un temps variable, plus court si l'animal est jeune, plus long s'il est vieux ou s'il s'agit d'un animal à température variable, à sang froid, le nerf se restaure, la continuité anatomique et physiologique se rétablit entre les tronçons du nerf sectionné, s'ils ont été maintenus en contact; elle se rétablit parfois même alors qu'il y a eu résection d'un segment nerveux de 1 à 2 centimètres. Dans ce dernier cas, on voit un faisceau de fibrilles grises bourgeonner, pousser sur le bout central et venir se souder au bout périphérique. En même temps, la myéline se reproduit dans les gaînes de Schwann et, en fin de compte, le nerf entier est restitué; seulement ses fibres conservent longtemps un petit diamètre (1).

Cette propriété de restauration est constante, inhérente à l'essence de la fibre nerveuse; puisque même des fragments nerveux transplantés et greffés sous la peau des chiens s'atrophient et se régénèrent, comme ils l'auraient fait après une simple section.

(1) Schiff, Vulpian, Phélippeaux.

Que de choses inexpliquées encore dans cette singulière restauration nerveuse ! Comment comprendre l'influence des cellules motrices et sensitives sur les fibres? Pourquoi, quelques jours après la section du nerf moteur, la motricité du nerf disparaît-elle, puisque le filament axile, qui est la partie essentielle de la fibre, conserve en apparence son intégrité? On admet, en général, que la genèse des fibres nerveuses n'est possible que chez l'embryon; elle nécessiterait, dit-on, des blastèmes très-complexes, que le seul travail de nutrition est impuissant à produire. Pourtant, dans les cas de restauration nerveuse, après résection, il y a génération de fibres nerveuses. Enfin la substance médullaire nerveuse ou myéline est un corps ternaire, hydrocarboné; or, dans le cas de régénération nerveuse, elle est nécessairement sécrétée, soit par la gaîne de Schwann, soit par le filet axile. Il y a donc là un nouveau cas de synthèse d'une matière ternaire carbonée dans un tissu animal.

CHAPITRE V.

DE LA SENSIBILITÉ EN GÉNÉRAL.

Quelque habitués que nous soyons à voir l'adage « *Natura non facit saltus* » se vérifier sans cesse et à retrouver, de quelque côté que nous envisagions le monde, des séries graduées de faits, force nous est bien de reconnaître dans la sensibilité consciente une propriété toute spéciale, se manifestant subitement et sans que rien la relie aux autres propriétés de la matière inorganique et organique. Sans doute il y a des degrés dans la sensibilité. En suivant la hiérarchie animale, on voit cette propriété, d'abord confuse, gagner peu à peu en intensité, en netteté, puis se subdiviser en départements divers ; mais il y a néanmoins un point où la sensibilité surgit brusquement, car entre l'inconscience et la conscience il ne peut y avoir de pont. Nous sommes donc ici en présence d'un fait nouveau, tout aussi particulier et inconnu dans son essence que l'est la pesanteur. Mais, de même aussi que le manque de toute notion précise au sujet de la nature intime de la pesanteur n'a pas empêché les physiciens d'étudier et de formuler les lois de cette grande propriété de la matière, ainsi, tout en ignorant ce qu'est la sensibilité nerveuse en soi, nous pouvons en indiquer les modes et les conditions.

La sensibilité consciente est une propriété inhérente à certaines cellules et fibres nerveuses. C'est là un fait général, vérifiable du haut en bas de l'échelle animale. Pourtant, il faut signaler ici l'apparente exception qui s'observe chez les infusoires. Beaucoup d'entre eux, en effet, qui, à s'en rapporter à nos microscopes, n'ont point de système ner-

veux, semblent pourtant percevoir des sensations. On les voit se mouvoir, en apparence volontairement, éviter les obstacles, etc., etc. Faut-il, pour expliquer ces faits paradoxaux, admettre avec quelques physiologistes une substance nerveuse amorphe, imprégnant, en quelque sorte, le corps entier de ces animaux? Rien n'autorise de pareilles hypothèses. Dans tout le règne animal, nous voyons la précision des perceptions sensibles correspondre à des appareils nerveux bien déterminés, aidés d'organes spéciaux, dits *organes des sens* et chargés de trier parmi les chocs, les mouvements, les vibrations, etc., en résumé, les impressions physiques du milieu extérieur, tout ce qui peut éveiller, dans les centres nerveux de l'être conscient, des sensations tactiles, olfactives, gustatives, auditives et visuelles. Comment admettre que des sensations spéciales, qui, pour se produire chez les animaux supérieurs, ont besoin d'appareils organiques divers et complexes, soient néanmoins perçues à l'état de confusion, d'indivision organiques? Il est bien plus simple d'accuser ici l'imperfection de nos moyens d'investigation et de réserver, jusqu'à plus ample informé, ces cas exceptionnels, destinés vraisemblablement à rentrer un jour dans la loi générale.

Sous le bénéfice de cette restriction, nous pouvons maintenant esquisser le tableau de la sensibilité nerveuse. Cette sensibilité a pour siége les cellules et fibres nerveuses, dont nous avons précédemment donné une brève description. Qu'il y ait des cellules nerveuses spécialement sensibles, ayant conscience des impressions exercées sur les extrémités terminales de leurs fibres, nul n'a jamais tenté de le nier.

Il n'en a pas été de même pour les fibres nerveuses proprement dites, et, se basant sur quelques expériences, les unes erronées, les autres insuffisantes, on a cru, pendant quelque temps, à l'indifférence des fibres ner-

veuses. Suivant cette théorie, les fibres nerveuses seraient toutes identiques. Il les faudrait regarder comme de simples fils conducteurs, indifférents au genre d'incitations qu'ils transmettent. Sensibles, quand elles mettent en communication un organe des sens et des cellules sensitives centrales, les fibres nerveuses pourraient devenir motrices par un simple déplacement, par le seul fait de relier un muscle à des cellules motrices. Aucune expérience sérieuse ne vient à l'appui de cette théorie, que dément avec éclat l'évidente spécialité des nerfs optiques, acoustiques, etc. En effet, toute irritation portée soit sur le trajet de ces nerfs, soit sur leur tronçon central, après section, n'éveille dans les centres nerveux que des sensations spéciales, des lueurs, des sons, etc. De même, chez les vertébrés, les racines postérieures des nerfs rachidiens sont sensibles; bien plus, toute excitation portant sur un point quelconque de leur trajet, entre les téguments et les centres nerveux, détermine des perceptions sensitives, de tact, de douleur, etc.

Il y a donc des systèmes de fibres et de cellules physiologiquement tout à fait différents des cellules et des fibres motrices, en dépit de la très-grande analogie de forme et de structure. En outre, ce système nerveux sensible est habituellement armé, à l'extrémité de ses irradiations fibreuses, d'appareils spéciaux, destinés à colliger, à concentrer sur les fibres nerveuses terminales les excitations du dehors. Ces appareils sont les organes des sens, qu'il nous faut maintenant décrire brièvement dans toute la série animale.

Nous ne parlerons que pour mémoire des protozoaires. Point d'organes des sens chez eux, pas plus que chez les rhizopodes, les éponges, les infusoires, puisque ces organismes rudimentaires sont absolument dépourvus de système nerveux et que les organes des sens sont simple-

ment des appareils excitateurs, des moyens de renforcement des impressions extérieures, des instruments à l'aide desquels le système nerveux sensible palpe en quelque sorte le milieu ambiant. Est-ce à dire que l'on puisse ramener tous les sens spéciaux à un seul, celui du toucher ? On ne peut nier qu'il n'y ait du vrai dans cette généralisation. Sous la diversité apparente des sensations spéciales, il y a toujours une même cause, savoir : le choc, l'ébranlement des extrémités nerveuses sensibles par des molécules appartenant au milieu extérieur ; mais, comme chaque sens trie, dans ces multiples excitations, celles qui correspondent à sa construction anatomique, il faut bien admettre des sens spéciaux.

Si certains physiologistes ont voulu, avec quelque apparence de raison, réduire tous les sens à un seul, d'autres, au contraire, ont prétendu en multiplier capricieusement le nombre. Les anciens avaient admis cinq sens : le toucher, le goût, l'odorat, l'ouïe et la vue. Buffon a voulu y ajouter le sens génésique. Ch. Bell a imaginé un sens musculaire, un autre sens chargé d'apprécier le poids, la consistance. Selon Carus, suivi en cela par plusieurs physiologistes contemporains, il y aurait un sens spécial pour la température. Nombre de physiologistes admettent des nerfs dolorifères. Mais le dénombrement sensitif des anciens est sûrement le plus simple et le plus sûr; il y a sens spécial là seulement où existe un appareil spécial pour recueillir certaines impressions, à l'exclusion des autres. Les appréciations du poids, de la pression, de la consistance, de la température, de la douleur, etc., rentrent évidemment dans le domaine du sens du toucher; sinon il faudrait par analogie subdiviser les autres sens, ceux de la vue, de l'ouïe, de l'odorat, du goût, en une foule de sens distincts correspondant à toutes les variétés de couleurs, de sons, d'odeurs,

de saveurs. Si, dans certaines maladies, la perception de la douleur est abolie, tandis que le toucher semble intact, c'est simplement que les nerfs du tact sont devenus insensibles à certains ébranlements, comme l'œil devient parfois incapable de percevoir telle ou telle couleur.

Mais, si les cinq sens classiques suffisent bien à représenter les grands départements de la sensibilité chez l'homme et les vertébrés, il n'est pas impossible qu'il en soit autrement chez les invertébrés. Les ondes aériennes ne sont sonores pour l'oreille humaine que dans certaines limites de nombre, de longueur, de rapidité. De même, les rayons chimiques du spectre solaire n'éveillent chez nous aucune sensation. Mais des appareils sensitifs autrement conformés que les nôtres peuvent fort bien percevoir ces vibrations pour nous insensibles. L'inverse est plus probable encore. Nombre d'invertébrés semblent, au point de vue des sens spéciaux, bien moins favorisés que l'homme et les mammifères supérieurs, et, par conséquent, peuvent être dépourvus d'un ou de plusieurs de nos cinq sens. Cette question de physiologie comparée a été peu étudiée encore. Pourtant, de quelques expériences faites par M. P. Bert on peut inférer qu'en ce qui concerne les perceptions visuelles, il n'y a pas de différence radicale entre l'homme et les insectes, en dépit de la dissemblance des organes percepteurs.

CHAPITRE VI.

DU TACT.

Le tact est le plus simple de tous les sens, le moins différencié. Les sensations tactiles résultent d'un choc, d'une pression, d'un ébranlement portant presque directement sur les extrémités des fibres sensitives. Là où ces fibres sont très-nombreuses, la sensibilité tactile est très-développée. C'est habituellement en certains points des téguments, peau ou muqueuse, que se trouvent ces agglomérations de terminaisons nerveuses sensibles. Ordinairement alors ces extrémités terminales sont revêtues d'une enveloppe, d'une sorte de capuchon ; parfois elles se terminent par une cellule nerveuse. Il y a alors ce qu'on appelle des *corpuscules du tact*.

Le sens du tact est répandu un peu partout chez les mammifères supérieurs; mais il existe, plus ou moins développé, dans toute la série animale. Comme il est le moins parfait des sens, il est aussi celui qui offre le moins de variétés dans les différentes classes animales, comparées entre elles.

On considère comme organes tactiles, chez les polypes hydraires et les anthozoaires, les tentacules qui entourent la bouche.

Les annelés, les hirudinés auraient pour organes du tact des cellules tégumentaires ayant la forme de soies, de baguettes, en connexion avec des fibres sensibles. Suivant Leydig, ces organes cutanés tactiles seraient parfois, chez les hirudinés, rassemblés en grand nombre au fond de dépressions cupuliformes.

Chez les *échinodermes*, on considère comme organes

tactiles des tentacules situés dans le voisinage de l'orifice buccal et recevant des nerfs.

Les mollusques auraient pour instruments du tact des cellules cutanées à prolongements sétiformes, disséminées là où le corps n'est pas recouvert de pièces dures (1).

Quand on peut suivre les nerfs cutanés des mollusques, chez les espèces transparentes, par exemple, on voit que ces nerfs sont clairs, pâles, offrant çà et là des renflements ganglionnaires. Il semble donc qu'ici le sens du tact soit exercé par des fibres grises.

Les appendices articulés ou *palpes* situés dans le voisinage de la bouche chez les crustacés, les arachnides, les insectes, seraient des organes tactiles. Chez les crustacés, il y aurait, sur les antennes et les autres appendices, des prolongements filiformes, « des baguettes tactiles », qui existeraient aussi chez les myriapodes, les insectes (2). Outre ces organes spéciaux, force est bien d'admettre chez les crustacés, arachnides, insectes, des organes sensibles disséminés dans la peau. En effet, malgré l'enveloppe, le vernis de chitine, qui les recouvre, ces animaux sentent très-bien le contact des corps extérieurs sur un point quelconque de leur corps. La membrane molle, qui double cette couche de chitine est donc sensible, comme l'est d'ailleurs le derme sous-unguéal de l'homme.

La structure générale de la peau est sensiblement la même chez tous les vertébrés, mais pourtant le mode de terminaison des fibres nerveuses y est divers. Souvent les fibres aboutissent à des renflements appelés les uns *corpuscules de Paccini;* les autres, *corpuscules du tact*. Les premiers s'observent chez l'homme, les oiseaux, etc. Dans le corpuscule du tact, la fibre sensible aboutit à un noyau ovoïde. Les corpuscules du tact, chez l'homme, auraient

(1) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 122, 302, 479.
(2) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 361.

une forme spéciale, qui se retrouverait pourtant dans la main du singe et dans les papilles linguales de l'éléphant. Tout le monde sait que ces corpuscules sont extrêmement nombreux, aux faces palmaire et plantaire de la main et du pied de l'homme, où, par leur juxtaposition ils dessinent des lignes courbes pressées et régulières. A la face palmaire de la phalange unguéale de l'index, Meissner a compté cent huit corpuscules du tact, dans un espace d'une ligne carrée.

Ces corpuscules sont de forme ovoïde et chacun d'eux est constitué par une couche dermique, recouvrant une petite masse de tissu conjonctif. Un filet nerveux sensible pénètre dans le corpuscule par sa base. Il est certain que ces corpuscules tactiles sont des appareils, qui renforcent la sensation, mais n'y sont pas indispensables. Les différentes sensations tactiles sont encore perçues par la peau, dans les régions où font défaut les corpuscules; mais elles le sont bien moins nettement. Les surfaces internes des phalanges terminales des doigts, par exemple, sentent les deux pointes d'un compas à une distance de sept dixièmes de ligne, tandis qu'au niveau de l'épine dorsale il faut une distance de 24 lignes, pour que les deux sensations ne se confondent pas (1). A la pointe de la langue, au contraire, les deux sensations sont encore perçues à une distance d'une demi-ligne.

(1) E. J. B. Weber, *De subtilitate tactus*, dans l'ouvrage initulé : *De pulsu, resorptione, auditu et tactu. Annotationes anat. et physiol.* Lipsiæ, 1834.

CHAPITRE VII.

DES SENS DU GOUT ET DE L'ODORAT.

Le fait de l'extraordinaire sensibilité tactile de la pointe de la langue prouve bien que les corpuscules cutanés dits *tactiles* ne sont point des appareils sensitifs spéciaux. En effet, ces corpuscules ne paraissent pas exister dans la muqueuse linguale.

Le sens du toucher n'a donc point chez l'homme, où il a été surtout étudié, de localisation bien définie, de spécialisation bien nette. Nous le voyons aussi sur la langue se transformer, passer graduellement au sens du goût; car les saillies papillaires de la pointe de la langue, qui sont si tactiles, sont en même temps gustatives; il suffit, pour s'en convaincre, de les exciter avec un faible courant électrique. L'effet est d'ailleurs le même, alors qu'on excite seulement les parties de la pointe de la langue dépourvues de papilles.

Nous ne savons rien de positif encore au sujet du siége et même de l'existence du goût chez les invertébrés et même chez beaucoup de vertébrés. La muqueuse buccale des poissons est couverte de petites dents pointues, crochues, et semble bien mal organisée pour la gustation. La langue, qui, chez les vertébrés, semble être le siége spécial ou le plus spécial du goût, est rudimentaire et sèche, chez beaucoup de reptiles. Pourtant les chéloniens et les lézards, qui mâchent leur nourriture, ont une langue charnue, molle, riche en papilles.

Les oiseaux semblent fort mal pourvus du côté du goût; ils avalent probablement sans goûter; car leur langue,

ordinairement dépourvue de tissu musculaire, est sèche et cartilagineuse.

C'est chez les mammifères que le sens du goût se développe, mais fort inégalement, suivant les espèces. Les rongeurs, qui se nourrissent de fruits ou de substances animales, ont une langue molle, sans appendices. Ceux, au contraire, qui rongent les racines et les écorces, ont sur la langue un tégument dur, parfois même garni d'écailles dentelées. Certains carnassiers, surtout des genres *Felis* et *Hyœna*, ont aussi la langue parsemée de papilles coniques, volumineuses et revêtues d'un étui corné.

Chez les chiens, les singes, l'homme, la langue est volumineuse, musculeuse, flexible. A la surface supérieure et sur les bords, la membrane muqueuse qui la recouvre est hérissée de saillies dermiques riches en filets nerveux. Ces papilles dénommées, d'après leur aspect, *caliciformes*, *fongiformes*, *corolliformes*, *hémisphériques*, semblent avoir pour résultat et pour fonction de multiplier les surfaces de contact avec les corps sapides. Ces derniers n'agissent qu'à l'état de dissolution ; il faut que leurs molécules dissociées, et en nombre suffisant, se mettent en contact intime avec les papilles gustatives. La sapidité a des degrés d'énergie fort différents suivant les substances. De l'eau contenant en dissolution un centième de sucre de canne est insipide, tandis qu'une solution de sel marin au huit-centième a encore de la saveur et qu'il suffit à une solution de renfermer un millionième d'acide sulfhydrique ou de sulfate de quinine pour être encore sapide. On peut toujours, on doit même rapprocher le sens du goût de celui du toucher ; mais le goût est un toucher spécial, moins grossier, plus varié aussi, car le nombre des saveurs perceptibles par l'homme est extrêmement nombreux. La division du travail sensitif est pour le goût plus évidente que pour le toucher. Il semble bien

y avoir des filets nerveux spéciaux pour certaines saveurs. Beaucoup de corps sapides, surtout des sels, produisent des sensations différentes, suivant qu'ils sont appliqués sur la partie antérieure ou sur la partie postérieure de la langue (1).

La structure intime des papilles gustatives est mal connue encore. Pour certains anatomistes, les fibres nerveuses se terminent librement dans les papilles. Pour d'autres, elles s'anastomoseraient avec de fins prolongements filamenteux émanant de cellules épithéliales. Cette disposition aurait été observée sur la langue de la grenouille (Billroth), animal chez qui le goût d'ailleurs est vraisemblablement fort peu développé.

Dans le toucher, la sensibilité est mise en jeu par le simple choc ou contact des corps. Le sens du goût, au contraire, n'est impressionnable que par des solutions, des molécules dissociées dans un liquide. Mais l'odorat exige une matière plus atténuée encore. En effet, des liquides imprégnés de substances odorantes n'éveillent aucune sensation olfactive, du moins chez l'homme, quand ils baignent l'organe de l'odorat. Seules, des substances à l'état de gaz, de vapeurs, ou de fines particules suspendues dans l'atmosphère, peuvent provoquer des sensations olfactives, du moins chez les mammifères supérieurs.

Dans la série animale, le sens anatomique de l'odorat est un peu mieux connu que celui du goût. Leydig a trouvé, chez les hirudinés, au fond de fossettes cupuliformes, des faisceaux serrés de prolongements rigides, analogues aux baguettes tactiles. Il a rencontré des organes analogues chez les mollusques céphalopodes. Croyant y reconnaître des organes olfacteurs, il a appelé ces prolongements

(1) J. Guyot et Admyrault, *Archives générales de médecine*, 2e sér., t. XIII, p. 51.

baguettes olfactives. Il a donné le même nom et attribué la même fonction à des faisceaux analogues existant sur la paire d'antennes antérieures de certains crustacés (1).

Chez tous les vertébrés, où le sens de l'odorat est mieux et plus sûrement connu, il est aussi constitué par des fossettes de forme, et de volume divers, situées sur la tête. Ces cavités sont ordinairement revêtues d'épithélium vibratile. Chez l'amphioxus, l'organe de l'odorat semble exister, en dépit de l'absence de cerveau. Il est représenté par une ou deux fossettes à épithélium vibratile (2).

Dans toute la classe des vertébrés, sans en excepter l'homme, les filets nerveux olfactifs sont composés de fibres pâles, finement granuleuses, sans enveloppe de myéline ; en somme, de fibres grises, qui, toutes, chez les vertébrés crâniotes, émanent de deux renflements nerveux spéciaux et intra-crâniens appelés *bulbes olfactifs*. Ces amas de substance nerveuse, très-peu développés chez l'homme, le sont beaucoup plus chez les autres vertébrés, Chez beaucoup de mammifères et de vertébrés, d'ailleurs, le sens de l'odorat est bien plus développé que chez l'homme. Il contrôle le sens de la vue, souvent lui vient en aide, et parfois le supplée. Les bulbes olfactifs de beaucoup de mammifères sont très-volumineux, situés en avant du cerveau ; souvent ils sont creux, et communiquent avec les ventricules latéraux. La taupe, qui est presque aveugle, a des bulbes olfactifs énormes. Chez beaucoup d'oiseaux et de reptiles, les bulbes olfactifs forment aussi une importante expansion cérébrale. Le bulbe olfactif des poissons est souvent aussi gros que le lobe cérébral proprement dit. Parfois même il est beaucoup

(1) Gegenbaur, *Anatomie comparée*, p. 190. — Leydig, *Histologie comparée*, p. 250, 361.

(2) Huxley, *Anatomia comparata dei vertebrati*. Tr. ital. de E. Giglioli. — Gegenbaur, *Anat. comparée*, p. 709.

plus gros, et cette conformation est sans doute en rapport avec la difficulté de l'olfaction dans un milieu aquatique.

Les nerfs olfactifs sont des filets nerveux portant en grand nombre de ces bulbes, et se ramifiant dans la portion supérieure des fosses nasales. La muqueuse de ces cavités, habituellement revêtue de cils vibratiles, en est précisément dépourvue dans la portion, assez limitée, où elle reçoit les filets olfactifs. Là elle est munie d'un épithélium cylindrique, dont les cellules se terminent en fins filaments allant se perdre dans le derme de la muqueuse. Au-dessous de ces cellules épithéliales sont d'autres cellules spéciales, surmontées chacune d'un bâtonnet mince, à extrémité transparente et cristalline (fig. 102). A leur partie inférieure, ces cellules émettent des filaments noueux, qui se continuent avec les fines ramifications des nerfs olfactifs (1).

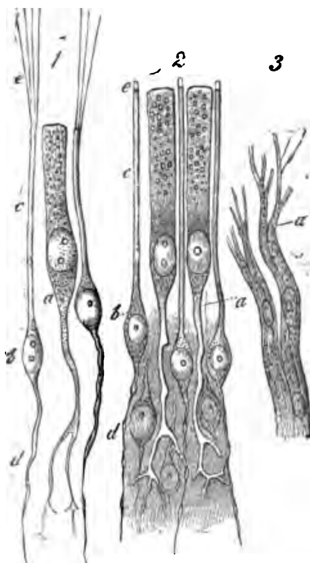


Fig. 102

Éléments microscopiques de la muqueuse olfactive : 1, de la grenouille; *a*, cellule épithéliale cylindrique à noyau, se terminant à sa base par un filament ramifié; *b*, cellule à noyau du bâtonnet olfactif, *c*, qui se termine à son extrémité par un faisceau de longs cils vibratiles, *e*, tandis que la cellule porte à sa base un fin filament noueux, qui se continue avec les fibres du nerf olfactif.— 2, de l'homme : *a*, les cellules épithéliales à queue, entre lesquelles se trouvent les cellules, *b*, avec leurs bâtonnets olfactifs, *c*, leurs terminaisons en bouton, *e*, et leurs filaments internes, *d*, communiquant avec les fibres du nerf olfactif. — 3, fibres du nerf olfactif du chien se divisant en fibrilles très-fines.

(1) C. Vogt, *Lettres physiologiques*, p. 419.

Le sens de l'olfaction, même chez l'homme, est d'une très-grande délicatesse. Un air chargé d'un dix-millionième de son volume de vapeur d'essence de roses a néanmoins, pour nous, une odeur très-appréciable. La finesse de l'odorat est bien autrement grande encore chez beaucoup d'animaux, capables de percevoir quantité d'odeurs, qui nous échappent.

En réalité, malgré la volatilité des substances odorantes, la manière dont ces substances se mettent en conflit avec les éléments olfacteurs ne diffère pas, au fond, de ce qui se passe pour le sens du goût. La muqueuse olfactive étant constamment lubrifiée par une sécrétion, c'est toujours à l'état de dissolution, que les particules odorantes arrivent en contact avec elle. Aussi les groupes de sensations olfactives et gustatives sont-ils très-voisins, et ce n'est pas sans peine, que les physiologistes en opèrent le triage. En résumé, l'odorat se rapproche du goût, qui est voisin du toucher. A la rigueur, on peut considérer ces trois variétés de la sensibilité comme trois modes, trois degrés d'un même sens.

Au point de vue de la dignité, de la noblesse psychologique, le toucher, le goût et l'odorat sont aussi des sens grossiers, inférieurs. Chez l'homme, ils n'ont pas de mémoire spéciale; les sensations et impressions qu'ils procurent, ne laissent pas d'empreintes durables, et l'imagination seule est impuissante à les réveiller.

Il en est tout autrement des deux sens spéciaux, dont nous avons encore à parler.

CHAPITRE VIII.

DU SENS DE L'OUIE.

Entre les trois sens précédents, que l'on peut appeler *sens tactiles*, et les sens de l'ouïe et de la vue, il y a une importante différence dans le mode de génération des sensations. Pour les sens tactiles, le contact direct des corps capables d'exciter la sensation est indispensable. Au contraire, pour l'ouïe et la vue, l'organe sensitif est ébranlé indirectement, par de simples vibrations transmises à des milieux fluides ou solides. Comme nous n'avons pas ici à écrire un traité d'acoustique, il nous suffira de rappeler que tout corps sonore n'est qu'un corps dont les molécules vibrent plus ou moins régulièrement et communiquent aux milieux ambiants des mouvements, qui, de proche en proche, vont ébranler les organes auditifs.

La physiologie des invertébrés est encore si imparfaitement connue, qu'on ne sait dire, si, chez nombre d'entre eux, le sens de l'ouïe existe. En se guidant d'après les données et les analogies anatomiques, on a cru reconnaître des organes auditifs dans presque tous les groupes des invertébrés. Chez les vers, l'organe auditif serait une capsule vésiculiforme, pleine de liquide et renfermant des concrétions solides, analogues à celles que l'on rencontre dans l'oreille interne des vertébrés. Ces *otolithes* seraient mis en mouvement vibratoire par des cils tapissant la paroi du sac auditif (1).

Certains échinodermes seraient aussi pourvus de vésicules auditives, dans lesquelles flotteraient des granula-

(1) Gegenbaur, *loc. cit.*, p. 197.

tions homogènes fortement réfringentes. Ces vésicules reçoivent des nerfs, et parfois même reposent sur les ganglions centraux du système nerveux (1).

Même structure des organes auditifs chez les mollusques. Ce sont toujours de petits sacs pleins de liquide et contenant des otolithes formés d'une base organique, imprégnée de substance calcaire. Ces otolithes sont parfois au nombre de plusieurs centaines (fig. 103).

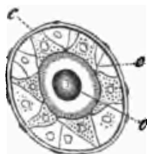


Fig. 103.
Organe auditif de *cyclas* : *c*, capsule auditive ; *e*, cellules épithéliales pourvues de cils ; *o*, oolithe.

Les organes auditifs des arthropodes sont plus variés, et connus seulement dans quelques divisions des crustacés et des insectes. Chez les crustacés, les vésicules auditives seraient parfois ouvertes. Les vésicules closes renferment des concrétions otolithiques fixées par des poils fins et régulièrement disposés. Selon Hensen, il existerait parfois des poils auditifs, libres, en dehors des vésicules. Ces poils entreraient même en vibration, isolément, quand il se produit des sons musicaux. Chacun d'eux vibrerait dans l'eau, suivant un son musical spécial.

Les organes de l'ouïe proviennent, chez les vertébrés, d'une invagination, qui se produit des deux côtés de la tête, au commencement de la vie embryonnaire. Cette vésicule, d'abord en large communication avec l'extérieur, se ferme peu à peu. Le plus inférieur des vertébrés, l'amphioxus, semble dépourvu d'organes auditifs (2). D'après Schultze, l'organe auditif des cyclostomes semble être d'abord une vésicule contenant un otolithe arrondi (3).

(1) Leydig, *loc. cit.*, p. 316.

(2) Huxley, *Anatomia comparata dei vertebrati*, p. 71 (trad. En. Giglioli).

(3) *Entweilung von Petromyzon Planeri.* Harlem, 1856.

La plupart des poissons ont pour organes de l'ouïe des ampoules pleines de liquide et imparfaitement divisées par une cloison incomplète, sur laquelle s'étalent les terminaisons nerveuses. La face interne de la paroi est tapissée de cellules épithéliales cylindriques. Au-dessous se trouvent d'autres cellules envoyant des bâtonnets entre les cellules épithéliales. A leur base, ces cellules émettent des filaments fins, qui semblent en relation avec les nerfs (fig. 104). Ce serait une structure très-analogue à celle de la membrane olfactive.

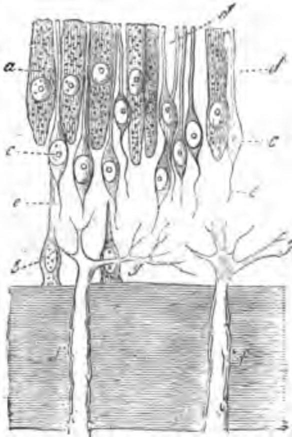


Fig. 104.

Préparation microscopique prise sur la cloison de l'ampoule auditive de la raie bouclée *(raja clavata)* : *a*, cellules cylindriques à noyau, formant l'épithélium interne; *b*, cellules à noyau se terminant en filaments fins et reposant sur le cartilage traversé par les fibres nerveuses *f*, qui se terminent par des ramifications très-fines, *g*; les ramifications se continuent très-probablement dans les filaments fins *e*, par lesquels commencent les cellules à noyau *c*, dont les terminaisons en bâtonnets auditifs, *d*, sont engagées entre les cellules *a* de l'épithélium.

Chez l'homme et les vertébrés supérieurs, l'organe auditif se compose, comme on le sait, de trois parties (fig. 105), savoir : l'oreille externe, comprenant le pavillon de l'oreille et le conduit auditif externe fermé par la membrane du tympan; l'oreille moyenne, composée de la caisse du tympan communiquant avec la gorge par la trompe d'Eustache et traversée par la chaîne des osselets; enfin l'oreille profonde, constituée schématiquement par une ampoule pleine de liquide et contenant des otolithes. On sait aussi que cette oreille profonde se subdivise en ***vestibule, canaux semi-circulaires***, et en une partie roulée en spirale, le ***limaçon***. La portion fondamen-

tale de tout cet appareil compliqué est évidemment l'oreille profonde, dans laquelle se trouvent les filets terminaux du nerf auditif. Les autres parties sont accessoires et manquent plus ou moins complétement chez beaucoup de vertébrés. L'oreille profonde elle-même se simplifie de plus en plus, à mesure que l'on descend

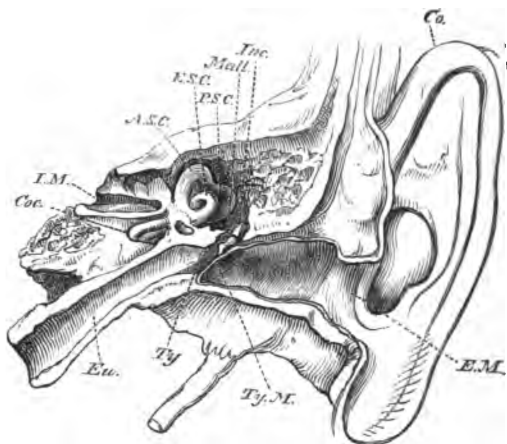


Fig. 105.

Section transversale à travers toutes les parois d'un crâne, pour montrer toutes les parties de l'oreille : *Co*, conque ou oreille externe ; EM, conduit auditif externe; T*y*M, membrane du tympan; *Inc* et *Mall*, enclume (incus) et marteau (Malleus); ASC, PSC, ESC, canaux demi-circulaires antérieurs, postérieurs et externes; *Coc*, limaçon (cochlea); *Eu*, trompe d'Eustache; IM, conduit auditif externe, à travers lequel le nerf auditif parvient à l'organe de l'audition.

dans la série. Ainsi les mammifères aquatiques et les oiseaux n'ont pas d'oreilles externes. L'oreille moyenne disparaît graduellement chez les reptiles et les amphibies. Déjà, chez les mammifères inférieurs, le limaçon se déforme. Au lieu du limaçon en spirale, les oiseaux ont un petit sac pyriforme. Il faut noter ce dernier fait complétement en contradiction avec les théories modernes sur le

rôle du limaçon chez l'homme, où il aurait surtout pour fonction d'apprécier les sons musicaux. Un pareil organe devrait donc être très-développé chez les oiseaux chanteurs. Plus de limaçon dans l'oreille interne des reptiles et des poissons. Les poissons les plus inférieurs n'ont même plus de canaux semi-circulaires, et par conséquent leur oreille se rapproche beaucoup de celle des invertébrés.

De ce rapide résumé anatomique, il ressort manifestement, que la partie vraiment essentielle de l'organe de l'ouïe est l'oreille profonde, c'est-à-dire une vésicule pleine de liquide tenant en suspension des otolithes et où aboutissent les filets terminaux du nerf auditif. Le choc des ondes sonores aériennes met en mouvement le liquide de l'ampoule auditive, et les vibrations des molécules de ce liquide ébranlent et impressionnent les filets du nerf auditif. Chez les mammifères supérieurs et l'homme, ces filets sont très-nombreux; aussi l'ampoule auditive s'est compliquée : elle est munie d'appendices, de canaux circulaires et surtout du labyrinthe, c'est-à-dire d'un prolongement tubuleux cylindroïde, roulé sur lui-même en spirale et dont les tours vont en décroissant graduellement (fig. 106). Les filets nerveux auditifs pénètrent dans la tige de ce limaçon et en sortent successivement, en s'étalant dans la cloison, qui sépare les uns des autres les tours de spire. Ces filets nerveux du limaçon sont composés de fibres nerveuses, qui, d'abord blanches et à double contour, se continuent avec des cellules ganglionnaires, deviennent ensuite fines et pâles, et enfin aboutissent à de petites cellules émettant chacune un filament extrêmement fin, une sorte de bâtonnet auditif.

Comme les tours de spire du limaçon vont en décroissant, la longueur des filets nerveux terminaux diminue aussi graduellement, et leur arrangement régulier rappelle

assez celui des cordes d'une harpe ou d'un piano, auquel on les a souvent comparés. Un organe accessoire, l'organe de Corti, logé dans la cloison spirale elle-même, a été comparé au clavier de ce piano vivant. Mais les fibres nerveuses ne vibrent point à la manière des cordes, et la portion de chacune de ces fibres, incluse dans la cloison du limaçon, ne représente qu'une très-faible partie de la fibre totale. L'analogie est donc forcée. Rien ne prouve que, dans leur ordre de décroissance, chacune de ces

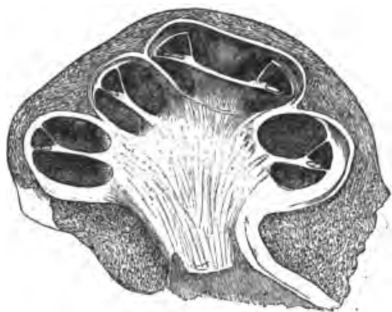


Fig. 106.

Coupe verticale du limaçon d'un fœtus de veau. La tige centrale ou columelle, ainsi que la lame spirale, ne sont pas encore ossifiées. On voit distinctement, dans chaque tour de spire, les trois cavités ainsi que l'épaississement dû à l'organe de Corti.

fibres soit affectée à la perception d'un ton spécial de plus en plus haut, et la construction spirale du limaçon peut très-bien n'être qu'un artifice organique, ayant l'avantage de fournir à l'épanouissement des filets nerveux une surface relativement grande sous un petit volume. Il n'en est pas moins certain que l'oreille de l'homme trie les tons et demi-tons musicaux avec une grande facilité; mais des observations d'anatomie pathologique prouvent que cette faculté d'apprécier les sons musicaux peut persister après la destruction du limaçon. Enfin, comme

nous l'avons fait remarquer en passant, les oiseaux chanteurs n'ont pas de limaçon en spirale.

Quoi qu'il en soit, l'oreille peut percevoir une infinie variété de sons de toute sorte, en dehors des sons musicaux, dont le nombre est assez limité. Sous le rapport de la richesse du champ sensitif, l'ouïe est bien supérieure aux trois sens tactiles, et ne le cède qu'au plus délicat, au plus intellectuel des sens, au sens de la vue.

CHAPITRE IX.

DU SENS DE LA VUE.

Déjà nous avons noté, comment, en allant du toucher au goût, du goût à l'odorat, de l'odorat à l'ouïe, les excitants des sensations spéciales, les modes suivant lesquels le milieu extérieur impressionne les organes des sens, allaient toujours s'atténuant. Au début, c'est le choc, le contact grossier, puis c'est la particule sapide; après vient l'effluve odoriférante ; enfin la vibration simple, l'onde sonore. De l'ouïe à la vue, la série se continue. Il ne suffit plus, en effet, pour exciter le nerf optique, d'une ondulation de molécules gazeuses, liquides ou solides. L'excitant normal du sens de la vue est le plus impalpable de tous; c'est la vibration de l'éther, d'un corps non pas sans doute pénétrable, comme on l'a cru longtemps, car tout ce qui est matériel est étendu et impénétrable, mais au moins d'un gaz tellement raréfié, léger, que, pour nos grossiers instruments de physique, il n'a pas de poids appréciable.

L'œil, quel que soit le type de sa structure, peut être considéré, dès qu'il est muni de ses parties essentielles, comme un appareil transparent et réfringent, propre à concentrer les rayons lumineux sur les expansions du nerf optique. Mais l'œil est loin d'être toujours complet, et il est bien curieux de le voir se perfectionner peu à peu en remontant la série animale. Que de pages empreintes d'une admiration ampoulée on a écrites pour vanter la structure soi-disant merveilleuse de l'œil chez l'homme et les vertébrés supérieurs! C'était un instrument parfait, œuvre nécessaire d'un constructeur intelligent, sou-

cieux d'accommoder les moyens aux fins, etc., etc. Nous savons aujourd'hui, que, considéré comme appareil d'optique, l'œil est un assez bon instrument, nullement parfait d'ailleurs. D'autre part, l'anatomie comparée et l'embryologie nous prouvent, qu'en dépit de sa construction compliquée, l'œil n'est, au même titre que tous les autres organes, que le résultat d'un lent travail de perfectionnement et d'accommodation.

En effet, l'œil rudimentaire n'est qu'une simple tache de pigment noir, reposant sur des éléments nerveux. Tel il est chez les méduses inférieures, où l'on trouve, à la base des tentacules, des taches pigmentaires; ces taches sont bien le premier rudiment des yeux; car parfois on y rencontre des baguettes cristalliformes. D'autres fois, la construction de l'appareil optique fait un pas de plus, et l'on rencontre sur les amas de pigment un corps transparent et réfringent (fig. 107). Chez certaines espèces, des faisceaux nerveux pénètrent manifestement dans la capsule (1).

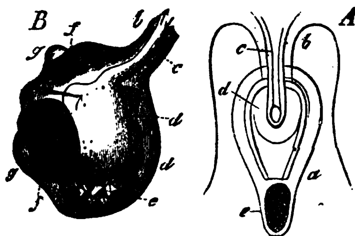


Fig. 107.

Corps marginaux de méduses acraspèdes : A, *pelagia noctiluca ;* B, *charybdea marsupialis ;* *a,* partie libre du bord de l'animal placée entre les franges découpées du disque ; *b,* pédoncule ; *c,* canal de ce dernier ; *d,* ampoule ; *e,* sac à cristaux ; *f,* pigment ; *g,* corps en forme de lentille.

Beaucoup de planaires ont d'abord, à l'état embryonnaire, des taches pigmentaires à la place où seront plus tard des yeux avec *baguettes* ou *cônes cristallins.* L'absence

(1) Pour toutes ces questions d'anatomie évolutive, consulter surtout le *Manuel d'anatomie comparée* de Gegenbaur, un des rares traités rédigés conformément aux données de la théorie du transformisme.

ou la présence des organes de la vision est souvent subordonnée au genre de vie. Les yeux, par exemple, manquent parfois chez les annélides vivant dans l'obscurité. Ces organes n'ont pas, dans ce cas, été objet de sélection et de différenciation, parce qu'ils étaient inutiles.

Les yeux des astéries sont situés à l'extrémité des rayons. Ce sont des corps sphériques reposant sur une masse nerveuse. Ils sont entourés d'une enveloppe de pigment et recouverts d'une cuticule épithéliale.

Les organes visuels se rencontrent dans la classe des mollusques, à tous les degrés de développement. Ils sont absents chez les mollusques fixes. Certains de ces derniers, qui, à l'état de larve mobile, avaient des yeux, les perdent, par dégradation organique, alors qu'ils sont devenus immobiles. Certaines espèces de lamellibranches ont, pour organes de la vision tantôt des taches pigmentaires, tantôt des organes brillants, disséminés sur le bord du manteau et recevant des nerfs.

Les yeux des *céphalopodes* et des *céphalophores* sont toujours au nombre de deux et ordinairement placés à la base des tentacules, parfois à l'extrémité de tentacules spéciaux. Ils sont d'ailleurs très-irrégulièrement développés. Tantôt ce sont de simples taches pigmentaires situées sur le ganglion œsophagien ; tantôt, par exemple, chez les *hétéropodes*, ce sont des organes complexes, comparables aux yeux des vertébrés. Ils reposent alors sur un renflement nerveux ganglionnaire, ont une rétine, une couche de bâtonnets optiques, séparés de la couche profonde de la rétine par une strate pigmentaire. Sur cette rétine repose une sorte de corps vitré, en avant duquel est une lentille recouverte par une cornée. Un mince tégument enveloppe tout l'appareil. L'œil de la sépia est construit sur ce plan, mais avec une grande perfection (fig. 108).

En résumé, l'œil complet se compose d'abord de bâton-

nets optiques, c'est-à-dire de petits organes spéciaux, destinés à recevoir ou plutôt à trier les ondes lumineuses et à transmettre l'ébranlement moléculaire aux filets nerveux optiques. C'est là la partie essentielle de l'organe de la

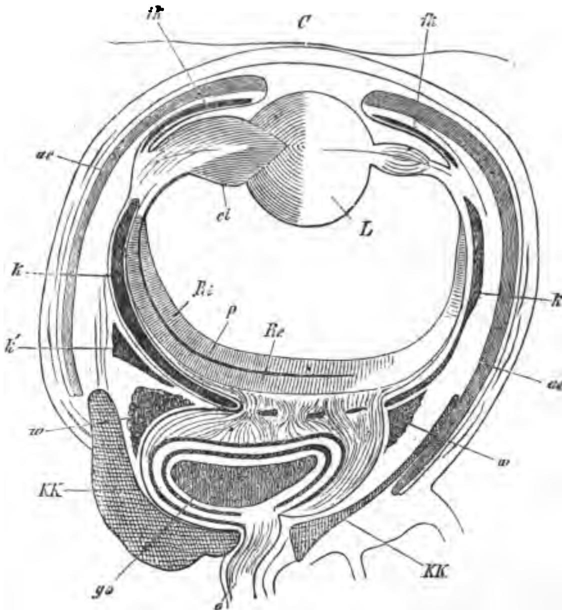


Fig. 108.

Coupe horizontale schématique de l'œil de la *sépia :* KK, cartilage céphalique; C, cornée; L, cristallin; *ci*, corps ciliaire; R, couche interne de la rétine; *p*, couche pigmentaire; *o*, nerf optique; *go*, ganglion du nerf optique; *k*, cartilage du globe de l'œil; *ik*, cartilage de l'iris; *w*, corps blanc; *ae*, couche argentine externe (d'après Hensen).

vision. En avant de ces bâtonnets, des milieux réfringents concentrent les rayons lumineux et renforcent ainsi l'impression. Enfin, une enveloppe pigmentaire isole plus ou moins parfaitement les éléments sensitifs.

Quelque particulière que paraisse, à première vue, la

structure des yeux compsés de beaucoup d'arthropodes, ces organes ne diffèrent pas essentiellement de ceux des autres groupes zoologiques. L'œil des arthropodes est, schématiquement, composé d'un bâtonnet cristallin, enfoui dans une masse pigmentaire et recouvert extérieurement d'une lame transparente en chitine. Cette lame se continue avec l'enveloppe tégumentaire générale et parfois se bombe en dedans, de manière à former une lentille plan-convexe. Parfois ce cristallin chitineux bombe aussi en dehors, et il est alors biconvexe. Cet œil simple, à bâtonnet unique, existe chez les crustacés inférieurs.

Chez les arachnides, plusieurs bâtonnets se groupent, s'accolent ; ils sont habituellement recouverts d'une seule et même cornée. Mais c'est chez les crustacés supérieurs et surtout les insectes que cet œil composé atteint son maximum de développement. Alors il est constitué par l'agrégation d'un très-grand nombre d'yeux simples, parfois de plusieurs milliers, rayonnant autour d'un renflement nerveux, serrés les uns contre les autres, ce qui leur a donné une forme hexagonale. Le tégument chitineux externe, la cornée, a alors l'aspect d'un réseau hexagonal, ressemblant très-exactement à du tulle (fig. 109, B). C'est ce qu'on a appelé *l'œil à facettes* (fig. 109).

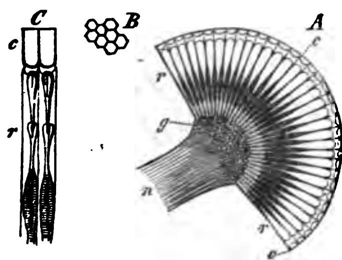


Fig. 109.

A, coupe schématique au travers d'un œil composé d'*arthropode : n*, nerf optique ; *g*, son renflement ganglionnaire ; *r*, bâtonnets cristallins sortant du ganglion ; *c*, cornée à facettes formée par les téguments, où chaque facette, en raison de sa convexité interne, paraît être un organe réfringent (lentille).

B, quelques facettes de la cornée vues en dessus.

C, bâtonnets cristallins (*r*) avec la lentille cornéenne correspondante (*c*) de l'œil d'un coléoptère.

En principe, l'œil des vertébrés ne diffère pas essentiellement de celui des invertébrés et même des arthropodes. Tout d'abord, il n'est représenté, chez l'amphioxus adulte et durant les premiers stades du développement chez les cyclostomes, que par une tache pigmentaire reposant sur les centres nerveux.

Chez tous les autres vertébrés, l'œil est d'abord constitué, à l'état embryologique, par une double expansion vésiculiforme de la cellule cérébrale intermédiaire. Ces expansions se réunissent aux cellules épithéliales de l'é-

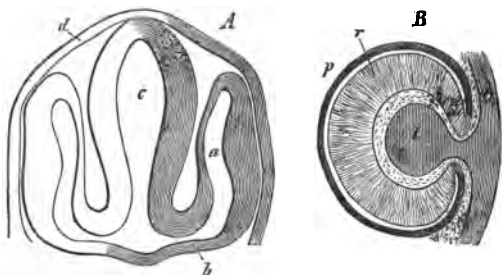


Fig. 110.

A, coupe transversale et verticale d'un embryon de *poisson* : *c*, cerveau ; *a*, vésicule oculaire primitive ; *b*, sa tige, par laquelle elle communique avec le tube médullaire ; *d*, couche dermique.

B, état ultérieur, formation de la couche secondaire : *p*, paroi antérieure (couche pigmentaire) ; *r*, paroi postérieure (couche de la rétine) de la vésicule oculaire secondaire ; *e*, couche cornée (épiderme) émettant dans la vésicule secondaire le cristallin ; *l*, corps vitré en arrière.

piderme, qui, en cet endroit, se multiplient, se modifient, refoulent la paroi nerveuse vésiculaire, en la déprimant en forme de coupe. Puis l'expansion épidermoïdale, qui pénètre dans cette dépression, s'y différencie et forme le cristallin (fig. 110). En même temps, les expansions du nerf optique s'étalent sur le segment du globe oculaire ainsi formé, et leurs filets terminaux se relient à des bâ-

tonnets rétiniens en très-grand nombre (1). Enfin on a l'œil complet du vertébré supérieur (fig. 111), c'est-à-dire un globe fibreux recevant en arrière un nerf volumineux et renfermant une rétine, reposant sur une couche pigmentaire, puis divers milieux réfringents, qui sont d'arrière en avant; *le corps vitré, le cristallin* enchâssé dans un appareil contractile et vasculaire, appelé *procès ciliaires,* et protégé en avant par un écran contractile coloré,

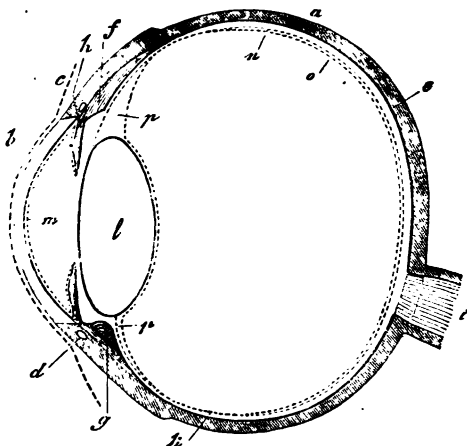


Fig. 111.

Coupe transversale et horizontale, agrandie, du globe de l'œil : *a,* sclérotique ; *b,* cornée ; *c,* lamelle de la conjonctive passant sur la cornée ; *d,* veine circulaire de l'iris ; *e,* choroïde avec sa couche pigmentaire ; *f,* muscle ciliaire ; *g,* processus ciliaire ; *h,* iris, au milieu de la pupille; *i,* nerf optique ; *k,* bord antérieur de la rétine (ora serrata retinæ); *l,* cristallin entouré de sa capsule ; *m,* membrane de Descemet tapissant la chambre antérieure de l'œil; *n,* couche interne de la rétine ; *o,* membrane du corps vitré ; *p,* canal de Petit.

l'iris. Cet écran, percé au centre d'une ouverture circulaire, *la pupille,* plonge dans un milieu liquide, *l'humeur aqueuse,* qui baigne aussi la face antérieure du cristallin, d'une part, et la face postérieure de la *cornée transpa-*

(1) Huxley, *loc. cit.*

rente, d'autre part. Nous n'avons pas ici à décrire, dans tous ses détails, la structure complexe de la rétine de l'œil des vertébrés. En résumé, cette rétine est formée de bâtonnets reliés en arrière à des cellules, où paraissent aboutir les fibres nerveuses optiques (fig. 112).

Si l'on veut bien faire abstraction des parties accessoires, l'œil de l'homme ne diffère pas essentiellement de celui des arthropodes. Chacun des bâtonnets de la rétine humaine est comparable à l'un des volumineux bâtonnets optiques des insectes, etc., et l'œil des mammifères peut être rapproché de l'œil composé, à cornée unique de beaucoup d'arachnides. Nous trouvons donc ici encore un fond uniforme sous une apparente variété.

Mais on peut généraliser bien davantage. En effet, il y a une grande analogie de conformation dans les terminaisons des fibres nerveuses sensitives. Pour les fibres optiques, auditives, olfactives spécialement, la ressemblance morphologique est frappante. Chacune de ces fibres aboutit, à la périphérie, à une cellule reliée elle-même à un organe spécial, à un *bâtonnet*, dont la fonction vraisemblable est de trier, parmi les vibrations moléculaires du monde ambiant, celles qui sont adaptées à la sensibilité spéciale de la fibre qu'il termine. Les organes des sens à structure compliquée, comme l'œil et l'oreille, ne sont que des appareils accessoires, qui rendent plus facile la fonction du bâtonnet, en concentrant sur lui tel ou tel genre d'excitations. En effet, à mesure que l'on descend dans la série animale, on voit les appareils, les organes des sens, se simplifier et même disparaître, en laissant à nu les terminaisons nerveuses et leurs bâtonnets.

Quant aux fibres tactiles et aux fibres gustatives, qui n'en sont qu'une variété, leur fonction est beaucoup plus simple ; aussi elles n'ont point ordinairement de cellules terminales. Elles n'aboutissent pas non plus à de vrais

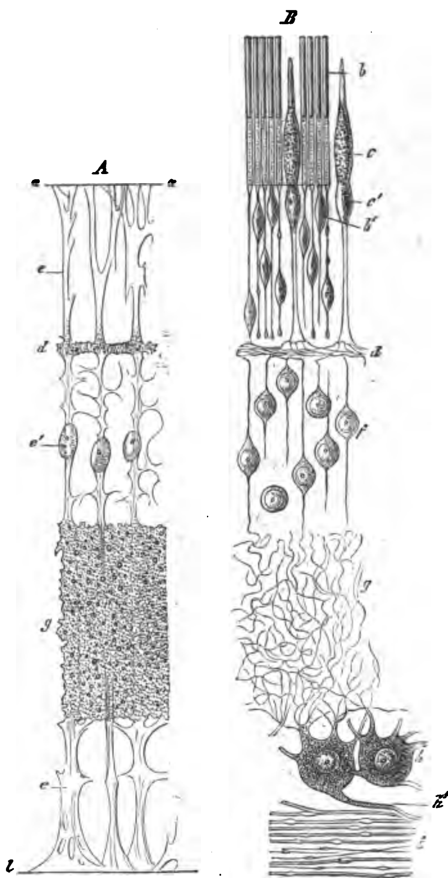


Fig. 112.

A, — *Eléments de la rétine.* — Le treillis isolé des fibres d'appui : *a,* membrane extrêmement fine, qui sépare la couche à bâtonnets des autres couches; *e,* fibres d'appui verticales, à prolongements latéraux, et noyaux intercalés (*c'*), visibles surtout dans les couches moyennes; *d,* couche intermédiaire; *g,* couche moléculaire; *t,* membrane limitante interne, où les fibres d'appui prennent naissance.

B, les éléments nerveux de la rétine isolés : *b,* bâtonnets à granules externes (*b'*); *c,* cônes avec leurs granules (*c'*) ; *d,* couche intermédiaire à fibrilles extrêmement fines ; *f,* couche à granules internes ; *g,* treillis de fibres nerveuses surfines dans la couche moléculaire ; *h,* cellules ganglionnaires ; *h',* fibres nerveuses qui s'y rendent ; *i,* fibres du nerf optique.

bâtonnets, mais à des corpuscules, des saillies dermiques, des appendices de forme variée.

La nature des sensations transmises aux centres nerveux conscients par les fibres sensitives est, du reste, tout à fait indépendante des appendices et appareils terminaux. En effet tout nerf sensible, excité sur son trajet, éveille dans les centres nerveux uniquement et spécialement le genre de sensation, qu'il a fonction de provoquer. Toute excitation physique, mécanique, chimique, etc., toute lésion, piqûre, contusion, section d'un nerf sensible, ont pour contre-coup, dans les centres nerveux, des sensations tactiles ou douloureuses, gustatives, olfactives, auditives, optiques, suivant que le nerf touché est affecté au tact, au goût, à l'odorat, à l'ouïe ou à la vue.

Il nous reste maintenant, après avoir passé en revue les organes périphériques de la sensibilité, les appareils collecteurs de sensations, à nous occuper des centres récepteurs, des parties nerveuses, où l'ébranlement mécanique des fibres sensitives terminales détermine un fait psychique, un phénomène de conscience. On a fait, dans ces derniers temps, quelques efforts malheureux pour appliquer ici la théorie de la transformation des forces. Mais il n'y a point là de transformation de mouvement moléculaire dans le sens habituel de l'expression. Quand une ondulation lumineuse vient ébranler les nerfs de la rétine, la sensation centrale, qui en résulte, n'est nullement une transformation directe de la vibration éthérée. Cette ondulation a été simplement la cause occasionnelle de toute une série de phénomènes physiologiques, ayant pour vraie raison d'être l'oxydation nutritive des tissus. L'ébranlement mécanique des extrémités nerveuses sensibles joue, dans la sensation, le rôle de la détente dans une arme à feu. Or personne ne songe à voir, dans la défla-

gration de la poudre et la propulsion de la balle qui succèdent au choc de la détente d'un fusil, la transformation directe du mouvement opéré par cette détente. Il serait tout aussi peu logique de vouloir retrouver, dans le phénomène conscient de la sensation, l'ébranlement mécanique, qui a mis en jeu l'appareil sensitif. Dans l'arme à feu et dans le système nerveux, le choc extérieur a simplement déterminé une perturbation d'équilibre ; il a déchaîné des forces qui se neutralisaient mutuellement ; il a agi comme *une force de dégagement.*

CHAPITRE X.

DE LA PENSÉE.

Nous allons maintenant explorer un département biologique, qui a été, des siècles durant, le domaine exclusif de la fantaisie métaphysique et qui en est encore le lieu d'asile, le dernier refuge. C'est qu'en effet, l'investigation scientifique ne pouvait entreprendre avec quelque succès l'étude analytique des faits biologiques conscients, sans être armée de toutes pièces. Il fallait d'abord avoir acquis, par de patientes et innombrables recherches, une juste idée de l'organisation et de la vie ; il fallait avoir constaté, que le monde vivant et le monde minéral ne sont que des modes divers d'une même substance ; avoir épié pas à pas le mouvement circulaire des molécules matérielles, les avoir vues se vitaliser, puis se minéraliser dans le tourbillon nutritif ; avoir distingué et coordonné les grandes propriétés organiques. En même temps, il était nécessaire de débrouiller la structure et la texture anatomiques de tous les êtres vivants, de les résoudre en systèmes, appareils, organes, tissus et éléments anatomiques. Cela fait, il a été possible de classer les fonctions, comme on avait classé les organes, et surtout de rattacher les propriétés fondamentales de la substance vivante aux tissus. On a vu que tous les éléments anatomiques se nourrissent, grandissent et se reproduisent ; mais que sur ce fonds commun se greffent des propriétés spéciales à chaque espèce histologique, que la cellule épithéliale sécrète, que la fibre musculaire se contracte, que la fibre nerveuse conduit les incitations motrices et sensitives ; enfin, que tous les phénomènes de conscience ont pour

siége des cellules nerveuses. En effet, partout où il y a des phénomènes évidemment conscients, il y a des centres nerveux. La pensée est sûrement une propriété de la cellule nerveuse. Il y a des cellules nerveuses conscientes, et sans elles il n'est point de phénomène psychique, humble ou sublime. C'est l'idée que les Grecs avaient déjà exprimée dans une ingénieuse allégorie, en faisant sortir Minerve du cerveau de Jupiter. L'existence de ces cellules nerveuses est une condition nécessaire à la production des phénomènes de conscience, mais leur mode de groupement n'est qu'une condition secondaire de la pensée. Celle-ci existe avec tous ses modes principaux, aussi bien dans le chapelet nerveux ganglionnaire de la fourmi que dans le cerveau des mammifères. Pourtant, c'est une loi biologique, que la concentration des cellules nerveuses en grandes masses soit favorable au développement et à l'intensité des phénomènes psychiques. La chenille a plus de ganglions que l'insecte parfait ; le ganglion cérébroïde est d'autant plus gros que l'insecte est plus intelligent. Enfin, chez les vertébrés, le développement intellectuel est d'autant plus grand que l'encéphale est plus volumineux.

Faut-il considérer comme autant de petits cerveaux les ganglions nerveux des invertébrés ? Chaque renflement de la chaîne nerveuse centrale, chez les insectes, par exemple, a-t-il la faculté de sentir, de penser, de vouloir, pour son propre compte ? Toute cette concaténation ganglionnaire est-elle une fédération nerveuse, dont chaque membre jouit d'une certaine indépendance et préside à la vie consciente du segment du corps qui lui correspond ? Il y aurait, dans ce cas, une sorte de division régionale du travail nerveux conscient, et le ganglion cérébroïde ou sus-œsophagien n'aurait guère sur les autres que l'avantage de présider à la vision, et d'être en conséquence chargé de guider toute la cohorte échelonnée derrière

lui (1). Une célèbre expérience de Dugès semble de prime abord résoudre la question affirmativement : « J'enlève rapidement, dit-il, avec des ciseaux, le protothorax ou *protodère* de la *mantis religiosa;* le tronçon postérieur, resté appuyé sur ses quatre pattes, résiste aux impulsions, par lesquelles on cherche à le renverser, se relève et reprend son équilibre si on force cette résistance, et en même temps témoigne, par la trépidation des ailes et des élytres, d'un vif sentiment de colère, comme il le faisait pendant l'intégrité de l'animal, quand on l'agaçait par des attouchements ou des menaces. Mais ce tronçon postérieur contient une bonne partie de la chaîne des ganglions; on peut poursuivre l'expérience d'une manière plus parlante : le long corselet, qu'on a détaché des autres segments, contient un ganglion bilobé, qui envoie des nerfs aux bras ou pattes antérieures armées de crochets puissants (pattes ravisseuses); qu'on en détache encore la tête, et ce segment isolé vivra près d'une heure avec son seul ganglion; il agitera ses longs bras et saura fort bien les tourner contre les doigts de l'expérimentateur, qui tient le tronçon, et y imprimer douloureusement leur crochet. Donc, ce seul ganglion thoracique ou *dérique sent* les doigts qui pressent le segment auquel il appartient, *reconnaît* le point par lequel il est serré, *veut* s'en débarrasser et y *dirige* les membres qu'il anime » (2).

A première vue, l'expérience de Dugès semble décisive; mais la coordination des mouvements, leur intention apparente, ne prouvent pas nécessairement qu'ils soient conscients. Nombre de mouvements réflexes très-compliqués, mais parfaitement inconscients, se coordonnent très-bien. On observe quantité de ces mouvements en apparence voulus, même chez les vertébrés, même chez les mammi-

(1) Dugès, *Physiologie comparée*, t. I, p. 343.
(2) Dugès, *Physiologie comparée*, p. 337.

fères, où pourtant la coalescence des centres nerveux est bien autrement grande. Un poisson, une grenouille privés de cerveau exécutent encore des séries de mouvements en apparence combinés. Il en était de même des pigeons auxquels Flourens avait amputé le cerveau (1). Enfin, des mouvements réflexes coordonnés s'effectuent encore sur un cadavre humain décapité. La moelle épinière semble être une source d'activité nerveuse automatique, un centre nerveux inconscient. Il en peut donc être de même des ganglions nerveux des arthropodes, etc., chez qui, d'ailleurs, la prépondérance du ganglion cérébroïde est bien moins évidente et sûrement beaucoup moins absolue que celle du cerveau des vertébrés.

Chez ces derniers, le cerveau est certainement le principal et très-vraisemblablement le seul organe conscient. En parcourant la série de bas en haut, on voit les hémisphères cérébraux grossir à mesure que l'espèce est mieux douée, plus intelligente. Ce sont d'abord de simples ampoules nerveuses, ne se distinguant guère des autres renflements nerveux intracrâniens (voir liv. Ier, ch. VI). Puis graduellement ces vésicules cérébrales grandissent, finissent par dominer et recouvrir plus ou moins complétement les autres ganglions nerveux encéphaliques; leur surface, presque exclusivement formée de cellules nerveuses, se sillonne, se plisse en digitations flexueuses appelées *circonvolutions* (fig. 93, C, C). Ces circonvolutions sont d'ordinaire d'autant plus nombreuses que l'animal est plus intelligent. Leur objet, comme celui du *peigne*, qui refoule, dans l'œil, d'arrière en avant la rétine de certains oiseaux, est de multiplier la surface sous un petit volume. En même temps que leur nombre et leurs ramifications augmentent, la substance grise, l'écorce cellulaire, qui les

(1) Flourens, *Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux*, etc. Paris, 1824.

recouvre et est la partie consciente du cerveau, augmente d'épaisseur. Chez l'homme, il faut évaluer à plusieurs milliers le nombre des cellules nerveuses superposées en strates dans un millimètre carré de substance corticale cérébrale, et le nombre de ces strates est plus grand à la partie antérieure du cerveau, dans les lobes frontaux, qui semblent être le quartier général de l'intelligence (1).

Dans un chapitre précédent, nous avons résumé la belle systématisation anatomique des cellules et des fibres des centres nerveux humains, que l'on doit à M. Luys. On a vu que les milliers de fibres sensitives et périphériques de chaque moitié du corps aboutissent d'abord à un noyau cellulaire intracrânien, *la couche optique;* que de là, elles rayonnent vers les cellules corticales des circonvolutions; qu'enfin d'autres fibres partent de ces cellules corticales, et convergent vers un autre noyau cellulaire, *le corps strié*, d'où s'irradie enfin tout le système des fibres motrices périphériques, relié d'autre part aux cellules du cervelet, qui semble être simplement un centre coordinateur des mouvements. Comme les cellules corticales des deux hémisphères cérébraux sont réunies par des fibres transversales, il en résulte que les hémisphères, les deux couches optiques, les deux corps striés, forment un système complet, dont les différentes parties se lient anatomiquement et physiologiquement. L'homme est-il sain et adulte, alors l'instrument est harmonique et vibre juste; les circonvolutions sont gonflées, épanouies; leurs sommets s'élèvent également à la surface des hémisphères; une couche corticale, cellulaire, de plusieurs millimètres d'épaisseur les revêt. Au contraire, dans la sénilité, la

(1) J. Luys, *Études de physiologie et de pathologie cérébrales*, p. 11. Paris, 1874.

démence, les maladies mentales, certaines circonvolutions s'affaissent et s'effondrent ; ce sont des notes qui ne résonnent plus (1).

En résumé, tout système nerveux quelque peu développé, chez les invertébrés aussi bien que chez les vertébrés, se ramène à une partie cellulaire consciente, en relation de continuité avec deux systèmes fibreux, l'un afférent, par où arrive l'excitation sensitive, l'autre efférent, par où se transmet l'incitation motrice. Le schéma d'un tel système serait une cellule consciente munie d'une seule fibre afférente et d'une seule fibre efférente.

Mais le mode de fonctionnement d'un système ainsi disposé est évidemment l'action réflexe, et en effet, il n'est pas d'acte nerveux central, du protozoaire à l'homme, qui ne puisse se ramener à des actes réflexes ; aussi est-il infiniment intéressant de suivre dans ses phases principales la transformation et la complication graduelles de l'acte nerveux réflexe.

Tout d'abord, l'action réflexe est absolument inconsciente. Il y a ébranlement des fibres afférentes, excitation des cellules, qui réagissent sur les fibres efférentes. A un degré plus élevé, la cellule nerveuse se sensibilise ; elle a conscience de la vibration de ses molécules ; elle éprouve des *sensations* de tact, de goût, etc., plus ou moins variées et nombreuses, suivant que l'organisme est plus ou moins perfectionné. En même temps, elle a des *impressions* de douleur ou de plaisir. A ce stade, l'être conscient est très-inférieur encore ; chaque sensation, chaque impression meurent aussitôt qu'elles sont nées ; nul enchaînement des phénomènes conscients, nul lien, nul rapport dans la vie psychique. Mais tout change, dès que la cellule nerveuse garde la trace de l'acte réflexe dont elle a été le

(1) J. Luys, *le Cerveau* (*Revue scientifique*, nº 35, 1875).

centre. Elle s'en imprègne en quelque sorte, comme certaines substances phosphorescentes captivent les rayons lumineux, comme une plaque de collodion préparée emmagasine les ondes lumineuses (1). A partir de ce moment, les phénomènes conscients s'enchaînent l'un à l'autre ; les derniers venus trouvent dans les centres nerveux l'écho de ceux qui les ont précédés. Pour parler le langage des psychologues, on peut dire que les facultés naissent. Les traces des sensations et impressions passées deviennent des *souvenirs ;* il y a de *la mémoire*. Puis ces souvenirs se disjoignent, se groupent capricieusement, formant des tableaux complexes, fictifs dans l'ensemble, quoique formés d'anciennes sensations et impressions ; il y a de *l'imagination*. Mais, des impressions persistantes de douleur et de plaisir sont nés les *désirs* de ressentir les unes, de fuir les autres. L'impressionnabilité, la sensibilité, l'imagination, se groupent autour de ces désirs, et sont plus ou moins vivement incitées par eux. Cette coordination des impressions, des sensations, des images en vue d'un but à atteindre, devient un raisonnement, et la faculté d'opérer cette coordination est ce que les psychologues ont appelé *entendement, intelligence, raison ;* de même que le résultat conscient de toute confrontation, toute comparaison, entre elles, des impressions, des sensations, etc., est appelée *idée, pensée.* Enfin tout désir précédé et accompagné d'un raisonnement, d'une évaluation relative du mobile, devient *une volition ;* d'où *la volonté* des psychologues.

Mais derrière tout ce labyrinthe de phénomènes psychiques, il y a simplement des actes réflexes, des sensations et des impressions transformées. De plus, tout ce travail mental, dont l'excessive complication chez l'homme a si

(1) J. Luys, *Recherches sur le système nerveux*, etc., p. 270.

longtemps défié l'observation, résulte simplement des propriétés spéciales du tissu nerveux. En effet, toute sensation s'accompagne d'une élévation de température du nerf et d'un trouble dans son état électrique, d'une oscillation négative du courant nerveux. En outre, elle a besoin pour s'effectuer d'un temps très-appréciable, correspond à une élévation de température dans les cellules qui en sont le siége (1), coïncide avec une suroxydation, une usure de la substance de ces cellules, qui éliminent une plus grande quantité de phosphates, etc., etc. (2).

Enfin l'anatomie comparée, l'anthropologie, l'anatomie pathologique viennent encore apporter à la physiologie leur précieux concours; elles nous montrent, que les facultés morales et intellectuelles sont complétement asservies aux centres nerveux; qu'elles en suivent docilement les variations en plus ou en moins, en mieux ou en pire; qu'elles se développent, s'amoindrissent ou s'altèrent avec eux. Les phénomènes de conscience sont donc, dans tout le règne animal, sans en excepter l'homme, des fonctions, des actes de la cellule nerveuse. Là-dessus, le doute n'est plus possible.

Mais nous n'en sommes déjà plus réduits à cette simple constatation. Un jeune physiologiste italien, le docteur Mosso (de Turin), vient de frayer à la psychologie expérimentale une voie toute nouvelle, en la dotant d'un appareil, que l'on peut bien appeler un *psychomètre*. Nos lecteurs nous sauront sûrement gré de résumer ici le travail encore inédit du docteur Mosso.

On savait, depuis bien longtemps, qu'il y avait un certain rapport entre la contractilité des vaisseaux, spécialement des vaisseaux capillaires, et certains ébranlements des

(1) Schiff, *Archives de physiologie*, t. II, 1870, et Lombard, *id.*, t. II, p. 670.

(2) Byasson, *loc. cit.*

centres nerveux, par exemple, que les impressions, les émotions fortes, modifiaient les battements du cœur, la coloration des joues, etc. (voir p. 257). C'est ce fait intéressant qui a servi de point de départ à M. Mosso. Il s'est proposé de trouver un moyen pratique, expérimental, pour mesurer avec quelque précision cette influence des centres nerveux sur les nerfs vaso-moteurs. Pour cela il se sert d'un grand manchon de verre fermé à l'une de ses extrémités, ouvert à l'autre, d'une sorte de grand flacon cylindrique, assez vaste pour loger facilement la main et l'avant-bras tout entier. Un large bracelet en caoutchouc fixe le manchon au pli du coude et en ferme du même coup l'orifice supérieur, tout en n'exerçant qu'une constriction des plus modérées. La paroi du manchon est munie de trois orifices. L'une, qui se ferme avec un bouchon, sert à remplir le vase, d'eau tiède. Une seconde ouverture laisse passer la boule d'un thermomètre, qui donne la température de l'eau. A la troisième est ajusté un tube recourbé, très-analogue à l'hémodynamomètre de Poiseuille. Ce tube communique avec la cavité du manchon et l'on s'arrange, pour qu'il s'y élève une petite colonne d'eau. Enfin il est muni à son extrémité supérieure d'une aiguille mobile, pouvant noter les oscillations de cette colonne sur le papier d'un tambour enregistreur. Les choses étant ainsi disposées, il est facile de voir que tout moindre afflux sanguin dans l'avant-bras diminuera le volume du membre et par conséquent fera refluer dans le ballon une partie de la colonne liquide de l'hémodynamomètre. Toute congestion, toute dilatation des vaisseaux produira un effet inverse. Dans les deux cas, l'aiguille écrira sur le papier enregistreur les oscillations de la colonne liquide.

Avec cet appareil, le docteur Mosso a pu constater que tout phénomène cérébral a son contre-coup sur la circu-

lation périphérique. Voici les principaux des faits, qu'il a notés sur l'homme, pendant la veille et le sommeil.

A l'état de veille, toute sensation, toute impression morale ou physique, tout travail intellectuel, s'accompagnent de fortes contractions des vaisseaux périphériques et le degré de la contraction est proportionnel à l'effort accompli. Ainsi pendant qu'un jeune homme traduisait successivement du latin et du grec, le niveau liquide s'abaissa moins pour le premier genre de traduction que pour le dernier, parce que le traducteur possédait bien la langue latine et mal la langue grecque.

Les faits observés pendant le sommeil ne sont pas moins curieux. Déjà, dans certains cas de pertes de substance des os du crâne, Blumenbach d'abord, le docteur Pierquin ensuite avaient remarqué que le rêve correspondait à une congestion de la substance cérébrale : « Une femme, dit Pierquin, avait perdu, par suite d'une affection syphilitique, une large portion du cuir chevelu, des os du crâne et de la dure-mère. La portion correspondante du cerveau se voyait à nu. Quand son sommeil n'avait pas de songes, le cerveau était immobile et demeurait dans sa boîte osseuse. Mais lorsqu'il était agité par des rêves, le cerveau turgescent faisait saillie hors du crâne. Cette turgescence était évidemment, dans ce cas, le résultat d'une excitation vasculaire. »

Les observations faites avec l'appareil de M. Mosso confirment bien celle de Pierquin. Au commencement du sommeil, il y a afflux sanguin périphérique ; les vaisseaux des membres se dilatent. Un bruit quelconque provoque toujours, dans le système vasculaire périphérique, des contractions considérables chez l'homme endormi. Les rêves sont toujours accompagnés d'une contraction périphérique, même alors qu'ils ne laissent pas de souvenir. Le retour de la vie de conscience, à la fin du sommeil, est

toujours précédé d'un contraction vasculaire à la périphérie du corps.

Un fait général ressort de ces observations, c'est qu'il y a alternance ou plutôt antagonisme entre le fonctionnement du cerveau et celui des autres organes. La congestion active du premier entraîne l'anémie relative des autres et cela nous donne la raison de quelques faits notoires : par exemple, de l'action sédative des occupations intellectuelles sur les instincts et les fonctions physiques, de l'influence débilitante des travaux de l'esprit sur la constitution générale, de la difficulté qu'il y a d'être à la fois homme d'action et homme de pensée.

On le voit, le procédé psychométrique que nous venons de décrire est une application des plus heureuses de la physiologie à l'étude des fonctions cérébrales. Ce procédé sera sûrement perfectionné, largement utilisé, et l'on peut prédire qu'il n'a pas porté tous ses fruits.

Comme nous l'avons déjà remarqué, l'excitation sensorielle sur les terminaisons des nerfs sensitifs ne fait que provoquer une rupture d'équilibre, mettre en liberté des forces qui se contre-balançaient. C'est l'étincelle qui met le feu aux poudres. Sans doute il est fort hasardé de dire, avec M. Wundt, que la sensation croît comme le logarithme de l'excitation qui la produit (1). Les faits de la biologie, avec leur diversité, leur variabilité infinies, se prêtent fort mal à l'inflexibilité des formules mathématiques. Mais, laissant de côté les logarithmes, il est constant, que la sensation n'est pas contenue dans l'excitation périphérique, et que son intensité croît plus vite que celle de la cause externe qui l'a provoquée.

La sensibilité est donc une propriété inhérente à la cellule nerveuse, et les sensations, ou, pour parler plus géné-

(1) Wundt, *Menschen und Thierseele* (analysé par Th. Ribot, in *Revue scientifique*, 1875, n° 31).

ralement, les faits de conscience, sont des phénomènes, qui s'interposent entre les courants afférents et efférents de l'action réflexe, et qui, une fois produits, persistent, ont une sorte d'existence propre, peuvent se revivifier, se combiner, s'agréger à des impressions, à des sensations nouvelles, se réveiller suivant l'impulsion des désirs, former enfin un amalgame mental, qui constitue le moi psychique. Mais, en définitive, malgré l'extrême complication du microcosme mental, les mouvements musculaires qui suivent nos volitions ne sont que le dernier terme d'une série réflexe, dont l'origine directe ou indirecte est toujours une excitation portant sur les extrémités des nerfs sensibles.

C'est sûrement un des plus importants services rendus par la physiologie moderne, que celui d'avoir ramené à une formule générale tellement simple tout l'écheveau si emmêlé en apparence des phénomènes psychiques; mais on a poussé plus loin encore le travail d'analyse, et après avoir démontré, que tout mouvement conscient était le résultat d'une action nerveuse réflexe, on a établi, qu'il y avait dans le cerveau une localisation des propriétés réflexes.

La division du travail s'accuse déjà dans la couche optique, où, chez l'homme, on peut isoler quatre amas de cellules nerveuses, quatre centres récepteurs (1). Le premier de ces noyaux, l'antérieur, est le *centre olfactif*, très-développé chez les espèces animales qui possèdent de gros nerfs olfactifs. En arrière est le *noyau optique*, le plus volumineux de tous chez l'homme, et très-peu développé au contraire, chez les espèces qui vivent habituellement dans l'obscurité, comme la taupe. Le troisième noyau, d'avant en arrière, ou *centre médian*, reçoit les

(1) Arnold, *Icones cerebri et medullæ spinalis*. Turici, 1858. — Luys, *Revue scientifique*, nº 37, 1875.

fibres tactiles non spéciales. Enfin, le quatrième est le centre récepteur des fibres acoustiques, le *centre acoustique*. Le rôle spécial de ces centres nerveux est établi : 1° par l'anatomie comparée, qui montre chacun d'eux d'autant plus volumineux que le sens correspondant est plus développé dans telle ou telle espèce animale ; 2° par l'anatomie pathologique, qui constate la coïncidence de leur atrophie isolée avec la disparition du sens dont ils reçoivent les ébranlements sensitifs ; 3° par l'expérimentation, puisque M. E. Fournier a pu, en faisant dans la trame de la couche optique des injections irritantes, détruire à volonté telle ou telle catégorie d'impressions sensitives.

A ces centres récepteurs optiques répondent, dans la substance corticale des hémisphères, des départements percepteurs de sensations et d'impressions. Sur le cerveau d'individus amputés depuis longtemps, le docteur Luys a constaté des atrophies locales de circonvolutions (1). Dans ces derniers temps, le docteur Ferrier (2) a vu qu'en excitant par l'électrisation telle ou telle région de l'écorce grise cérébrale chez les animaux, on faisait contracter tel ou tel groupe de muscles ; que l'on pouvait à volonté faire mouvoir les yeux, la langue, etc. M. Robert Batholon, professeur au collége médical d'Ohio, a obtenu les mêmes résultats en expérimentant sur un homme dont le cerveau était dénudé par une large perte de substance osseuse. De son côté, le professeur Schiff a vu, que, sur des animaux, la substance cérébrale s'échauffait dans telle ou telle localité, suivant qu'elle était ébranlée par telle ou telle catégorie d'excitations sensorielles (3). On peut com-

(1) Luys, *Revue scientifique*, n° 37, 1875.

(2) Ferrier (*Progrès médical*, 1873, n° 28, et 1874, n° 1), *Recherches expérimentales sur la physiologie et la pathologie cérébrales*.

(3) M. Schiff, *Archives de physiologie*, 1870.

parer ce mécanisme nerveux à un piano, dont les fibres sensibles périphériques seraient le clavier, les centres isolés de la couche optique les marteaux, et les diverses régions corticales les cordes.

A chaque touche répond une note physiologique : ici une sécrétion, là une palpitation, une contraction ou une dilatation de vaisseaux capillaires ; ailleurs une sensation, telle ou telle sensation ; ailleurs, par action réflexe, tel ou tel mouvement.

Plus les cordons nerveux périphériques seront volumineux, plus les noyaux des couches optiques seront développés, plus alors le courant des sensations et des impressions sera fort, et plus les centres percepteurs corticaux, les éléments nerveux qui ont conscience des sensations, qui les pèsent, les comparent, les enregistrent, seront fortement ébranlés ; plus par conséquent leur travail pondérateur sera difficile. Si en même temps ces couches corticales ont peu de surface et de profondeur, en d'autres termes, si les hémisphères cérébraux sont peu développés, l'animal ou l'homme sera surtout instinctif ; il obéira sur-le-champ et aveuglément à l'impression actuelle. Si, au contraire, les centres percepteurs dominent, alors l'être sera intelligent, réfléchi, maître de lui-même. C'est en vertu de cette loi que les vertébrés inférieurs, chez qui les vésicules nerveuses intracrâniennes, olfactives optiques, etc., sont aussi volumineuses que les vésicules cérébrales (cerveau antérieur, voir fig. 87-88), ont une intelligence rudimentaire.

On s'explique aussi facilement pourquoi tel homme, peu intelligent d'ailleurs, est doué pourtant de telle ou telle aptitude sensitive. Il suffit que l'oreille externe soit bien conformée, le noyau de la couche optique qui lui correspond volumineux, la fraction de substance corticale en rapport avec ce noyau riche en cellules, pour que l'individu, fût-il d'ailleurs fort mal doué, ait des aptitudes mu-

sicales. On comprend ainsi des faits singuliers, qui ont paru anormaux à beaucoup d'observateurs, par exemple, que beaucoup d'idiots aient montré du goût et même de l'aptitude pour la musique.

L'importance de ces généralisations n'échappera à personne. Elles portent la lumière dans le plus obscur, le plus mystérieux domaine de la biologie. Elles arrachent la psychologie des mains des rêveurs pour lui donner une base vraiment scientifique; elles sapent au pied nombre de préjugés enracinés, de mythes illégitimement révérés; elles sont les vraies et solides assises sur lesquelles s'élèvera un jour la science de l'homme moral.

LIVRE VII

DES FORCES PHYSIQUES EN BIOLOGIE.

CHAPITRE I.

DE LA CHALEUR ORGANIQUE.

On cite, à titre de rares exceptions, les réactions chimiques qui n'ont point pour corollaire un certain développement de chaleur. Mais la vie ne s'entretient que par de perpétuels échanges matériels, par des combinaisons, des décombinaisons, des mutations moléculaires incessantes ; il faut donc s'attendre à voir les corps organisés offrir, durant leur vie, des phénomènes calorifiques tout spéciaux.

Un fait général résulte déjà des observations thermométriques relevées dans les deux règnes vivants : c'est que l'élévation de la température est habituellement d'autant plus grande que la structure organique est plus complexe, plus différenciée, plus parfaite.

Les plantes suivent à peu près les variations thermales du milieu ambiant. C'est la conclusion à laquelle sont arrivés M. Rameaux, de Strasbourg, et aussi M. Becquerel (1). Le premier de ces observateurs pratiquait, dans les troncs des arbres, des trous, où il introduisait des thermomètres; le second se servait d'appareils thermo-électriques fort sensibles. Ces observations ne doivent être acceptées pour-

(1) *Des phénomènes physico-chimiques.*

tant qu'avec réserve. Il faut écarter tout d'abord les observations hibernales. L'hiver, la vie du végétal est réduite au minimum ; c'est un sommeil hibernant bien plus profond que celui des animaux. Les échanges nutritifs sont alors trop peu importants pour déterminer, dans la plupart des cas, une élévation appréciable dans la température. Quant aux observations estivales, elles doivent aussi être contrôlées. La plante n'a pas, comme l'animal quelque peu supérieur, un système circulatoire perfectionné qui égalise partout la température. Dans le végétal, chaque région, chaque tissu, chaque organe, jouissent d'une assez grande indépendance ; le régime fédératif est là beaucoup plus accentué que chez l'animal.

Le centre des arbres, le ligneux durci, est à demi minéralisé, et tout instrument thermométrique introduit dans cette région demi-morte, doit accuser peu ou point d'élévation de température. Il faudrait prendre, l'été, en plein mouvement végétatif, la température du cambium, de la couche intermédiaire entre l'aubier et l'écorce. Il est certain que, toutes les fois que, dans une partie quelconque d'un végétal, les phénomènes de nutrition, de développement, de transformation acquièrent un certain degré d'intensité, la température locale s'élève beaucoup. Il suffit de citer, à l'appui de cette assertion, les phénomènes thermiques qui accompagnent la germination, la floraison.

Cependant c'est surtout dans le règne animal que l'indépendance thermique de l'être organisé s'accuse nettement. Mais ici encore la température propre de l'animal est d'autant plus élevée, d'autant moins soumise aux fluctuations thermométriques extérieures que l'espèce est plus perfectionnée. Le professeur Valentin, qui a noté le chiffre de la température organique chez les principaux groupes invertébrés, a trouvé en moyenne pour excédant de la température animale sur le milieu extérieur :

Chez les polypes	0°,21
les méduses	0 ,27
les échinodermes	0 ,40
les mollusques	0 ,46
les céphalopodes	0 ,57
les crustacés	0 ,60

Nobili et Melloni, observant avec un appareil thermo-électrique, ont toujours rencontré chez les insectes une température positive d'une fraction de degré ou même de quelques degrés. Réaumur a constaté, dans une ruche d'abeilles, une température positive de 12°,5, alors que le thermomètre marquait au dehors 3°,75 (1).

Mais, si la température des invertébrés conserve presque toujours un excédant plus ou moins notable sur la température extérieure, elle varie, absolument, dans de très-larges proportions. D'ordinaire, elle suit plus ou moins docilement les oscillations thermométriques extérieures, s'élevant le jour et l'été, s'abaissant la nuit et l'hiver. Durant cette dernière saison et dans les climats froids, la plupart des invertébrés, que ne tue pas l'abaissement de la température, s'engourdissent et tombent en hibernation, enchaînés qu'ils sont aux vicissitudes climatériques.

Ce que nous venons de dire des invertébrés peut, à très-peu près, s'appliquer aux deux classes inférieures des vertébrés. Comme les invertébrés, les poissons et les reptiles ont une température qui varie avec celle du milieu ambiant, tout en lui étant ordinairement supérieure ; comme les invertébrés encore, la plupart d'entre eux s'engourdissent l'hiver. Pourtant leur excédant de température est habituellement plus élevé que celui des invertébrés. Il est d'ailleurs fort variable. Chez les poissons, on l'a trouvé

(1) Consulter J. Gavarret, *les Phénomènes physiologiques de la vie*, et article Chaleur animale du *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*.

tantôt de 0°,20 seulement, tantôt de 3°,88. Sur des poissons de la mer de Marmara, Davy a même observé un excédant thermal bien plus considérable. En prenant la température de l'abdomen et celle des muscles dorsaux, il a vu la première l'emporter de 6°,11, et la seconde de 7°,22 sur celle de la mer.

Chez les reptiles, l'excédant de température peut s'accuser encore davantage; s'il n'est parfois que de 0°,04 chez la grenouille, on l'a vu s'élever à 8°,12 chez le *lacerta agilis*.

Chez les vertébrés des deux classes supérieures, chez les oiseaux et les mammifères, où les systèmes respiratoire et circulatoire sont mieux construits, où les deux sangs ne se mélangent jamais, où la respiration est plus active, la température organique secoue en quelque sorte le joug de la température externe, et si l'on en excepte quelques rares espèces, qui sont astreintes encore à l'hibernation, on constate que les vertébrés supérieurs jouissent d'une température propre, assez élevée et ne variant que dans d'étroites limites, en dépit des climats et des saisons.

La température des oiseaux adultes et bien nourris varie entre 38 et 45 degrés. Cet écart de quelques degrés correspond aux différences spécifiques, individuelles, sexuelles même ; en effet, le professeur Martins a vu que, dans l'espèce canard, la température de la femelle était sensiblement plus élevée et aussi plus variable que celle des mâles.

La température des mammifères est inférieure de quelques degrés à celle des oiseaux; mais elle est constante comme cette dernière. Ainsi Parry a vu, dans les régions arctiques, un renard conserver un excédant de température de 76°,7 sur le milieu ambiant.

La température des mammifères oscille entre 36 et

40 degrés. Celle de l'homme varie entre 36°,50 et 37°,50, et diffère suivant l'âge et le sexe ; elle est plus élevée chez l'enfant que chez l'adulte, plus élevée chez l'adulte que chez la femme menstruée, et s'abaisse notablement chez le vieillard, durant le sommeil, etc., etc., suivant d'ailleurs assez fidèlement les oscillations de l'énergie respiratoire. (Voir livre II, chap. 16.)

De la série de faits que nous venons d'énumérer, il ressort qu'il n'y a point d'animaux *à sang froid*, dans le sens littéral de l'expression, et qu'il n'y a pas davantage d'animaux *à température constante*, au sens strict du mot. Dans tout le règne animal, la température organique, et spécialement celle du sang, est supérieure normalement à la température extérieure. Dans tout le règne animal aussi, la température organique oscille et varie. Seulement ces variations thermiques sont d'autant moins grandes que l'animal est plus élevé dans la série, et, pour l'oiseau et le mammifère bien nourris et d'âge adulte, la température du milieu intérieur, du sang, ne varie que dans d'étroites limites ; elle dépend alors bien plus des conditions biologiques de l'individu que de la température ambiante. Si elle résiste aux causes de refroidissement, elle peut aussi, dans une certaine mesure, résister aux causes d'échauffement et se maintenir un certain temps au-dessous de la température extérieure, alors que celle-ci est excessive. Le principal moyen de résistance à l'échauffement réside dans l'évaporation, qui s'opère alors sur les surfaces cutanée et respiratoire.

Le maintien de la température moyenne du sang est pour les oiseaux et les mammifères une condition capitale. Des écarts thermiques, même assez légers, mettent promptement la vie en péril. La température du sang ne saurait dépasser impunément 45 degrés chez les mammifères et 50 degrés chez les oiseaux. A 42 degrés, le sang

peut déjà se coaguler dans les vaisseaux ; à 49 ou 50 degrés, la substance musculaire se coagule ; les muscles sont alors rigides et acides (1).

Comme la composition des substances albuminoïdes est bien moins altérable par le froid que par le chaud, l'abaissement de la température organique est moins dangereux que son élévation ; à tout le moins, il y a, dans ce sens, une marge plus grande. De petits mammifères (lapins, cochons d'Inde), refroidis rapidement dans de la glace, meurent, quand la température de leur rectum est descendue à 18 ou 20 degrés. Mais, en procédant lentement, graduellement, on pourrait, sans les tuer, abaisser bien davantage leur température, puisque chez les marmottes en hibernation la température du rectum n'est que de 4 ou 5 degrés.

Nous savons que tous les animaux absorbent de l'oxygène, en quantité qui varie, suivant des lois déterminées, avec la classe, l'espèce zoologique, les conditions physiologiques. Nous savons, d'autre part, que cet oxygène absorbé est le principal agent des mutations et transformations chimiques, qui sont, à la fois, l'effet et la cause de la nutrition. Or, toute combustion développe de la chaleur. On peut donc, en se basant seulement sur les données générales qui précèdent, assigner pour cause à la production et au maintien des températures organiques, l'oxydation, la combustion lente des substances vivantes, et dire avec Lavoisier : « La machine animale est principalement gouvernée par trois régulateurs principaux : la respiration, qui consomme de l'hydrogène et du carbone et qui fournit du calorique ; la transpiration, qui augmente ou diminue, suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique ; enfin, la diges-

(1) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès de la physiologie*, p. 45, et Hermann, *Éléments de physiologie*. Paris, 1869.

tion, qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration » (1).

Mais, grâce aux progrès de la physique, de la chimie et de la physiologie modernes, nous pouvons suivre pas à pas, minutieusement, ces importants phénomènes, indiquer quels procédés emploient les organismes pour faire, suivant le besoin, du chaud ou du froid, dire quels organes sont les plus actifs producteurs de la chaleur, enfin, spécifier le rôle des aliments et appliquer au jeu des machines vivantes la grande loi de la corrélation des forces physiques.

(1) Lavoisier, *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789.

CHAPITRE II.

DES PROCÉDÉS DE LA CALORIFICATION ORGANIQUE.

S'il faut considérer les réactions chimiques de la nutrition comme le principal foyer de la chaleur organique, si cette chaleur est fonction de la nutrition, elle doit augmenter ou décroître, suivant que les échanges, les mutations moléculaires se font avec plus ou moins d'activité. Or, tout fonctionnement organique a toujours pour effet, ou plutôt pour cause, une accélération du double mouvement nutritif d'assimilation et de désassimilation; par conséquent, la température locale de chaque organe doit varier incessamment. L'observation confirme en effet cette conclusion inductive; car c'est une loi générale que tout organe s'échauffe, alors qu'il accomplit sa fonction spéciale, pour se refroidir ensuite durant les intervalles de repos.

On peut constater le fait, soit en prenant directement la température des organes, à l'aide d'aiguilles thermo-électriques, soit en comparant la température du sang qui entre dans un organe à celle du sang qui en sort. L'observation est praticable, par exemple, dans les artères et les veines des glandes. Elle a été faite pour les reins, les glandes salivaires, et aussi pour les vaisseaux afférents et efférents du foie. On a ainsi constaté que le foie est l'organe le plus chaud de l'économie, que ses veines efférentes sont plus chaudes que ses veines afférentes; que, pour les glandes à fonctionnement intermittent, comme les glandes salivaires, le sang veineux sortant de la glande s'échauffe toujours, quand cette glande est en activité (1).

Les observations ainsi faites sur les vaisseaux sanguins

(1) Cl. Bernard, *Chaleur animale*, in *Revue scientifique*, 1872, n° 45.

glandulaires ont, en outre, mis en relief un phénomène physiologique des plus intéressants, à savoir que si l'oxydation des tissus et des substances vivantes est la principale cause de la chaleur organique, elle n'est point la seule. En effet, le sang veineux glandulaire, qui est noir et oxydé durant le repos des glandes, devient au contraire rutilant, en même temps que sa température s'élève, alors que la glande entre en activité. Il est alors moins brûlé, contient plus d'oxygène et moins d'acide carbonique. Le sang veineux des glandes à fonctionnement intermittent, comme les glandes salivaires, passe ainsi alternativement du noir au rouge, suivant que les glandes sont à l'état de repos ou de mouvement. Au contraire, le sang veineux des glandes perpétuellement actives, comme le rein, est toujours chaud et vermeil. L'oxydation lente, la combustion organique, n'est plus ici qu'un facteur secondaire de la température, dont les causes principales sont les isoméries, les catalyses, les dédoublements, s'effectuant dans la trame des organes glandulaires (1).

Dans tous les autres organes, c'est l'oxydation qui domine; le sang efférent ou veineux est toujours noir, et d'autant plus noir, plus brûlé, que l'organe a fonctionné avec une plus grande activité. Ainsi le cerveau, si riche en vaisseaux capillaires, a normalement une température très-élevée. Le professeur Schiff a constaté directement que la température des hémisphères cérébraux s'élève quand ils fonctionnent; on sait aussi que ces organes sont en même temps le siége d'une sorte d'érection vasculaire, de congestion active, tandis qu'au contraire, durant le sommeil sans rêves, le cerveau est pâle et anémique. Des observations faites sur des animaux trépanés et aussi sur l'homme, dans des cas de pertes de substance des os du crâne, ont mis

(1) Cl. Bernard, *loc. cit.*, nº 47.

hors de doute ces faits intéressants (1). On sait, en outre, que l'activité intellectuelle chez l'homme sain et la surexcitation cérébrale chez l'aliéné s'accompagnent d'une suroxydation de la substance nerveuse, que décèlent une production et une excrétion plus grandes de phosphates. Enfin, on a constaté que le sang veineux venant du cerveau, le sang de la veine jugulaire avait normalement une température plus élevée que celui de l'artère carotide et que l'activité cérébrale avait pour corollaire une surélévation de cette température veineuse.

Le professeur Schiff a vu encore, à l'aide d'aiguilles thermo-électriques, la température s'élever dans les cordons nerveux excités, mais s'élever d'autant moins que l'animal était plus près de mourir.

Tous les éléments anatomiques, tous les tissus, tous les organes concourent donc à la production et au maintien de la chaleur organique, sans laquelle, d'autre part, ils ne sauraient continuer à vivre ; mais chez les vertébrés, et vraisemblablement chez les invertébrés supérieurs, c'est sûrement le système musculaire qui fournit le plus puissant tribut calorifique. Les muscles sont, en effet, le siége d'échanges nutritifs très-importants, et, en outre, ils représentent en poids environ un tiers du corps chez les mammifères.

Réaumur, Huber, Newport, etc., ont vu la température s'élever dans un bocal où étaient contenus des insectes, alors que l'on mettait ces animaux en mouvement en les inquiétant. Dufour a constaté que, durant le repos du sphinx atropos, la température de cet insecte est supérieure de 2 degrés seulement à celle de l'air ambiant, tandis qu'au crépuscule, quand l'animal s'agite et vole, la

(1) Pierquin, cité par Gratiolet, *Anatomie comparée du système nerveux dans ses rapports avec l'intelligence.* — Blumenbach, in *Archives de médecine,* 1861, t. I.

différence peut atteindre 10 degrés. M. Maurice Girard a vu la température du sphinx des bourdons égaler presque celle des animaux à sang chaud, après un vol prolongé. L'air ambiant étant à 23°,4, il a trouvé dans l'abdomen du sphinx 25°,5, et dans le thorax 32 et même 37 degrés.

Sur l'homme, la température musculaire a été surtout bien étudiée par M. Becquerel. Avec des aiguilles thermo-électriques, il a vu la température musculaire s'élever de 1 degré et quelques dixièmes, après un exercice violent. En même temps, le sang veineux sortant du muscle et qui, durant la période de repos, était modérément noir, devient d'un noir intense et sa température s'élève. Au contraire, dans la paralysie par section nerveuse, quand la contraction musculaire tonique est elle-même abolie, le sang sort du muscle rutilant, et à peine oxydé.

La production de chaleur, pendant la contraction musculaire, est donc manifestement dépendante de l'oxydation. On le démontre encore, en comprimant l'artère nourricière du muscle, ce qui produit aussitôt un notable refroidissement (Becquerel); en paralysant le système musculaire d'un chien par le curare, ce qui abaisse la température de l'animal de plusieurs degrés en une heure (id.); en faisant, au moyen de l'électricité, contracter des muscles de grenouille dans un bocal, et en constatant, que ces contractions ont donné lieu à la production d'acide carbonique (Matteucci).

Ce dernier fait prouve, en outre, que le muscle peut se contracter, s'oxyder et par conséquent engendrer de la chaleur, sans être traversé par un courant sanguin. Le suc musculaire interfibrillaire, peut-être la substance même de la fibre contractile, suffisent pendant quelque temps à produire les réactions chimiques indispensables. Ces réactions, qui nécessitent toujours une certaine absorption d'oxygène, ont été diversement interprétées. Il est cer-

tain que le muscle reposé est alcalin et que la contraction acidifie le suc musculaire. L'acide est de l'acide lactique ou sarcolactique. Le principe alcalin est de la créatinine qui se transformerait en créatine. Suivant une autre explication, la fibre musculaire ne s'userait point par le travail (Voit), ce qui est fort invraisemblable. Il y aurait dans le muscle reposé une substance azotée, l'inogène, qui, durant la contraction, se dédoublerait en acide carbonique, acide lactique et en une substance albuminoïde, la myosine. Ce serait la myosine, qui, en se solidifiant, produirait la rigidité du muscle. Le développement de chaleur et aussi la production de force mécanique résulteraient de ces réactions. On a même essayé de prouver que la quantité d'acide lactique produit était proportionnelle au travail musculaire accompli et à la température développée (Heidenhain). L'oxygène est d'ailleurs indispensable et à la contraction et à la réparation des forces musculaires (1). En effet, le repos seul ne suffit point à restaurer l'énergie musculaire; il faut, pour reconstituer la force contractile, qu'un liquide réparateur oxygéné circule à travers le muscle. Sur le vivant, c'est le sang artériel qui remplit cet office. On peut cependant, dans une certaine mesure, remplacer le sang dans un muscle isolé par l'injection d'une solution très-chargée d'oxygène, par exemple, une solution de permanganate de potasse.

Si la contraction musculaire produit de la chaleur, inversement la chaleur provoque des contractions; c'est un cas particulier de la grande loi de transformation des forces physiques, dont nous allons bientôt parler. Les battements du cœur s'accélèrent, quand on injecte dans une veine de l'eau chaude, même de manière à élever très-peu la température du sang. Inversement, sous l'influence lentement graduée du froid, les intestins et le

(1) Hermann, *Éléments de physiologie*, p. 231.

cœur se contractent de moins en moins énergiquement, puis finissent par s'arrêter. C'est là une des causes du sommeil hibernal.

Les phénomènes chimiques producteurs de la calorification organique s'accomplissent, d'une part, dans les plasmas sanguin et lymphatique, puisque ces liquides sont vivants; d'autre part, dans les tissus, dans les éléments anatomiques eux-mêmes, dont la nutrition est d'ailleurs étroitement liée à la quantité et à la qualité du sang qui circule dans les capillaires. Il nous faut donc maintenant décrire brièvement le mécanisme physiologique qui règle la circulation sanguine locale, la consommation de l'aliment sanguin et, par suite, la production de la chaleur organique.

L'agent régulateur des circulations capillaires locales est le réseau nerveux vaso-moteur, le nerf grand sympathique. Après la section d'un cordon nerveux sympathique, le sang veineux venant des organes dont la circulation était régentée par ce rameau nerveux, devient plus vermeil, plus chaud et plus coagulable. Il est moins brûlé et contient plus d'oxygène, mais il a été le siége d'actives réactions chimiques ; car il contient moins de fibrine que le sang veineux ordinaire; en outre, il jaillit de la veine par saccades isochrones, répondant aux battements de cœur. C'est que les capillaires sont dilatés et laissent passer le courant sanguin avec une rapidité cinq à six fois plus grande qu'à l'ordinaire. Habituellement, il y a dans l'organe dont les vaso-moteurs sont paralysés une congestion sanguine et toujours une élévation de la température locale. Que l'on vienne alors à électriser le nerf sectionné, aussitôt les capillaires se resserrent, la congestion disparaît, la température locale s'abaisse, le sang veineux redevient noir et ne coule plus qu'en bavant (1).

(1) Cl. Bernard, *Revue scientifique*, 1872, n° 23.

Puisqu'en paralysant les rameaux vaso-moteurs on provoque l'élévation des températures locales, on est autorisé à en conclure, que le réseau nerveux du grand sympathique a pour fonction de modérer les combustions locales, de restreindre la dépense nutritive, de rationner les éléments anatomiques, de faire du froid (1).

Mais nous avons vu que le réseau nerveux sympathique n'est qu'une dépendance du système nerveux général, qu'il est anatomiquement relié aux centres nerveux et qu'il y a, à la partie supérieure de la moelle épinière, un centre vaso-moteur général. On comprendra donc sans peine que des excitations directes ou réflexes, mais ayant pour siége les centres nerveux, puissent faire contracter synergiquement tous ou presque tous les vaisseaux capillaires du corps ; et, en effet, l'on peut, en blessant ou sectionnant la moelle épinière en un point déterminé, provoquer chez des mammifèrés, par exemple des lapins et des cochons d'Inde, un refroidissement général (2), qui jette ces animaux dans un état voisin du sommeil hibernal. L'animal est devenu alors un animal à sang froid. On obtient d'ailleurs le même résultat par divers procédés : en refroidissant directement et graduellement l'animal (3), en l'immobilisant pendant un temps suffisant, en le soumettant à des mouvements de balancement, en le couvrant d'un vernis imperméable.

Le jeu de la sensibilité physique et psychique retentit aussi sur la circulation capillaire, par l'intermédiaire de la moelle épinière et des nerfs vaso-moteurs. Des expériences faites sur des animaux et sur l'homme par le professeur P. Mantegazza ont prouvé que la douleur physi-

(1) Cl. Bernard, *Revue scientifique*, 1872, n° 23.

(2) Cl. Bernard, *Rapport sur les progrès de la physiologie*, p. 183.

(3) Fourcault, *Influence des enduits imperméables* (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, t. XVI).

que provoque un abaissement de la température. Il en est souvent de même de la douleur morale, des passions tristes, des chagrins prolongés, qui finissent parfois par altérer la nutrition des tissus et déterminer des dégénérations organiques.

La chaleur organique résulte donc de la nutrition, de la vie elle-même. Tout corps organisé, surtout tout animal, est un foyer, où des substances diverses, pour la plupart ternaires ou quaternaires, brûlent lentement, en développant de la chaleur, qui, à son tour, provoque ou favorise les échanges, les métamorphoses chimiques nécessaires à la vie. Une très-grande partie de la chaleur organique est engendrée par l'action de l'oxygène sur les solides et les liquides vivants. C'est cette action chimique principale, qui donne le branle à toutes les autres, quand elle n'est pas directement la seule source calorifique. Quantité d'autres réactions chimiques s'effectuent dans les organismes et engendrent aussi de la chaleur. « Les substances albuminoïdes produisent des phénomènes calorifiques tranchés, lors de leur hydratation avec dédoublement ou de leur déshydratation avec combinaison. Les hydrates de carbone (sucre, amidon, etc., etc.) peuvent dégager de la chaleur par le seul dédoublement, indépendamment de toute oxydation. Enfin les corps gras neutres peuvent aussi donner de la chaleur en se dédoublant par simple hydratation, comme il paraît arriver sous l'influence du suc pancréatique (1). »

La chaleur se produit donc dans tout corps organisé, en faible quantité chez les végétaux et les animaux inférieurs, avec plus d'énergie dans les organismes supérieurs. Elle se produit dans tous les organes, tissus et éléments anatomiques ; mais très-inégalement, suivant les conditions de

(1) Berthelot, *De la chaleur animale* (*Journal d'anat. et de physiol.*, t. II, p. 671).

temps et de lieu. C'est la circulation générale qui nivelle, dans une certaine mesure, les diverses températures locales, qui répartit avec une certaine égalité la chaleur créée, qui, d'autre part, grâce aux nerfs vaso-moteurs, règle la dépense et la température de chaque organe.

La quantité de chaleur ainsi produite est diversement employée. Une partie est dissipée et perdue par conductibilité, rayonnement, évaporation ; une autre partie sert à maintenir la température organique à un degré convenable ; enfin une dernière partie est directement transformée en travail mécanique, comme il arrive, dans les machines à vapeur, de la chaleur développée par la combustion du carbone ; car, en dépit de leur complexité, de leur mobilité, les phénomènes biologiques rentrent tous, comme les phénomènes physiques, dans la loi de la corrélation et de transformation des forces, ainsi que nous l'établirons dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III.

LA TRANSFORMATION DES FORCES EN BIOLOGIE.

Dans ses incessants efforts pour conquérir la vérité scientifique, l'humanité a procédé comme elle l'a fait dans ses conceptions mythologiques. Comme les dieux multiples du polythéisme ont peu à peu cédé la place au monothéisme et au panthéisme, ainsi l'observation a montré que les forces physiques imaginées et invoquées d'abord pour expliquer l'univers, se transformaient incessamment les unes dans les autres et n'étaient, à vrai dire, que des modes divers d'une force unique. Nous pensons que le langage scientifique gagnerait beaucoup, si l'on en bannissait définitivement ce mot *force*, qui exprime une conception toute métaphysique, celle d'un *je ne sais quoi* blotti derrière les éléments matériels et les conduisant comme le cavalier guide son cheval. En somme, il n'y a dans le monde que de la matière et du mouvement, ou plutôt, comme le mouvement n'est qu'un acte de la matière, il y a seulement de la matière en mouvement. Quand on dit, par exemple, que la chaleur se transforme en électricité, on entend simplement dire que la vibration atomique dite *calorifique* change de mode et devient la vibration que nous appelons *électrique*. Quand un corps, tombant librement dans l'espace, est brusquement arrêté dans sa chute par un obstacle et s'échauffe immédiatement et d'autant plus que sa chute était plus rapide, ce n'est pas une force dite *pesanteur*, qui se transforme en une autre force dite *chaleur*, c'est le mouvement de totalité du corps tombant qui se change en un mouvement vibratoire spécial des molécules de ce

corps, etc., etc. Tout devient clair, si l'on substitue le mot *mouvement*, qui a un sens net et précis, au mot *force*, qui est nébuleux et métaphysique.

Le mouvement est essentiel à la matière, et les atomes de tous les corps, aussi bien ceux de l'impalpable éther remplissant l'espace que ceux de nos métaux les plus durs, sont animés de mouvements violents et variés, qui, suivant les modes de leur rapidité, de leur direction, de leur amplitude, etc., etc., produisent sur nos sens des impressions diverses. Mais, comme, au fond, ces mouvements sont essentiellement analogues, ils se transforment très-facilement les uns dans les autres, puisqu'il leur suffit pour cela de changer de type.

Il nous faut ici rappeler les points principaux de cette grande doctrine de l'unité des forces fondée par le docteur Mayer et qui a révolutionné toute la physique.

Le physicien anglais Joule a démontré que tout corps subissant une violence mécanique, un frottement, un choc, etc., s'échauffe proportionnellement à la quantité de travail dépensé, c'est-à-dire que le mouvement de totalité qui a ébranlé sa masse s'est alors transformé tout entier en vibrations moléculaires calorifiques. On peut donc déterminer exactement l'*équivalent mécanique* de la chaleur, c'est-à-dire trouver combien de kilogrammètres sont nécessaires pour élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau. On sait que le kilogrammètre représente le travail nécessaire pour élever un poids de 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur. Joule trouva que 424 kilogrammètres étaient nécessaires pour obtenir ce résultat. L'équivalent mécanique de la chaleur rapporté à l'eau est donc, d'après ce calcul, 424. Réciproquement, 1 kilogramme d'eau, tombant librement d'une hauteur de 424 mètres et brusquement arrêté dans sa chute, gagnera 1 degré centigrade de température.

D'autre part, on a appelé *calorie* la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau.

La calorie équivaut donc environ à 424 kilogrammètres.

Mais on démontre facilement, par de très-nombreuses expériences, que le mouvement calorifique peut se transformer en mouvement électrique, en mouvement lumineux, en mouvement moléculaire chimique, même en son, comme le prouve la belle expérience des flammes chantantes. Réciproquement, tous ces mouvements peuvent se métamorphoser en chaleur ou se transformer l'un dans l'autre. On peut donc affirmer théoriquement qu'il y a des équivalents mécaniques de l'électricité, de la lumière, du son, des mouvements moléculaires qui s'effectuent dans les réactions chimiques, et, comme l'équivalent mécanique de la chaleur est connu, il suffirait de transformer ces divers mouvements en une quantité de chaleur déterminée, pour avoir leur équivalent mécanique. Ce travail n'a pas encore été fait avec une suffisante précision. Cependant le père Secchi a trouvé approximativement que la quantité d'électricité qui décompose 106 milligrammes d'eau, peut élever de 1 degré la température de 38 grammes du même liquide (1). Si donc on prenait pour *électrie* la quantité d'électricité capable d'élever de 0 à 1 degré 1 kilogramme d'eau, on verrait, par une simple proportion, que cette quantité d'électricité est celle qui peut décomposer 2g,789 d'eau :

$$0^g,106 : 38 :: x : 1000^g : x, \text{ d'où } x = \frac{106}{38} = 2^g,789.$$

Par conséquent, cette quantité d'électricité équivaut à 1 calorie, soit à 424 kilogrammètres.

On conçoit théoriquement la possibilité de détermina-

(1) A. Secchi, *l'Unité des forces physiques*, p. 328 (2e édit., 1874).

tions semblables pour le son, pour la lumière ; mais, en dépit de quelques tentatives, les équivalents mécaniques du son et de la lumière sont encore à déterminer.

Les combinaisons chimiques obéissent aussi à la grande loi de la corrélation des forces physiques. Il est clair que toute combinaison ou décombinaison chimique se réduit essentiellement à des mouvements d'atomes et de molécules. Dans toute combinaison chimique, des millions d'atomes se précipitent les uns vers les autres, s'entre-choquent, jusqu'à ce qu'ils soient parvenus à un état d'équilibre stable. Mais ici l'infinie variété des phénomènes rend difficile le calcul des équivalents mécaniques rapportés à l'eau. On est pourtant entré dans cette voie, en déterminant la chaleur de combustion d'un certain nombre de corps. Le tableau suivant indique le nombre de calories développées par la combustion, l'oxydation de quelques corps simples ou composés :

Substances oxydées.	Kilogrammes d'eau élevés de 0 à 1 degré par la combinaison avec l'oxygène de 1 kilogramme de chaque substance.
Hydrogène	34,135
Carbone	7,990
Soufre	2,263
Phosphore	5,747
Zinc	1,301
Fer	1,576
Étain	1,233
Gaz oléfiant	11,900
Alcool	7,016

Inversement, une fois ces corps saturés d'oxygène, leur décomposition par un courant électrique nécessite l'absorption d'une force équivalant au nombre de calories que développe leur combustion.

Ces observations établissent bien qu'en principe, les

mouvements atomiques rentrent dans la loi générale de l'unité des forces physiques; mais combien elles sont impuissantes encore à nous permettre de noter exactement toutes les transformations de mouvement moléculaire qui s'effectuent au sein des corps organisés!

Sans doute, il n'y a, dans ces derniers corps, rien qui ne provienne du monde minéral; mais ces éléments de provenance minérale, en dernière analyse, se groupent dans l'organisme vivant en composés infiniment complexes et en voie d'incessante métamorphose. Quoique ces transformations chimiques s'opèrent en série assez régulière, suivant une sorte de rhythme chimique, pourtant il est fort difficile de les suivre dans toutes leurs phases et, le plus souvent, on en est réduit, pour se faire une idée des actes chimiques des organismes, à comparer les corps absorbés aux corps éliminés. Mais, dans la machine animale, les actes chimiques les plus importants de la nutrition sont des oxydations, des combustions. Les matières alimentaires introduites dans un organisme animal représentent des systèmes moléculaires contenant des *forces de tension*, c'est-à-dire des groupes de molécules où les attractions atomiques se font mutuellement équilibre. Une fois brassés dans le tourbillon nutritif au contact de l'oxygène aérien, ces corps s'oxydent, leur équilibre moléculaire est détruit; ils mettent alors en liberté des *forces vives* (1), c'est-à-dire que les attractions moléculaires ne se neutralisant plus les unes les autres, les mouvements atomiques peuvent se

(1) En biologie, l'expression *forces vives* doit se prendre simplement dans un sens métaphorique, dans le sens de forces libres, de *forces vivantes*, comme le dit Helmholtz (*Lebendige Kräfte*). La mécanique biologique est trop peu avancée pour qu'on y puisse donner à l'expression *force vive* la valeur qu'elle a en mécanique, celle du produit de la masse par le carré de la vitesse.

communiquer au milieu ambiant et, par conséquent, se transformer en chaleur, en électricité, en mouvement mécanique ou de totalité. Ce sont là, en effet, les trois principaux modes de transformation des mouvements moléculaires dans l'intimité des tissus animaux. On sait que, dans les fibres nerveuses et musculaires, il y a courant électrique de la surface au centre, et ce courant résulte directement de l'oxydation ; car il se produit plus nettement encore, comme l'a constaté M. Becquerel, dans du tissu musculaire haché, qui alors s'oxyde ou plutôt respire plus énergiquement qu'à l'état normal. Nous avons signalé, en leur lieu et place, les phénomènes électriques qui s'effectuent dans les vaisseaux capillaires. Des courants électriques analogues se développent vraisemblablement dans tous les tissus vivants.

La chaleur organique est beaucoup plus facile à constater que ne l'est l'électricité. C'est, du reste, la forme que prend la plus grande partie des forces vives, des mouvements moléculaires libres dans la machine animale. Nous avons vu que cette chaleur maintenait le corps des vertébrés supérieurs à une température de 36 à 40 degrés.

D'ingénieuses expériences ont établi, que les mouvements musculaires avaient, tout aussi bien que la chaleur organique, leur source dans les combinaisons chimiques de la machine animale. On a vu que l'activité musculaire correspondait à une augmentation de la consommation d'oxygène, proportionnelle à la dépense de force et enfin que, pour une consommation d'oxygène donnée, la chaleur développée et le travail musculaire étaient en raison inverse l'une de l'autre. La force dépensée en chaleur ne l'est pas en travail mécanique, et inversement. C'est exactement ce qui arrive dans les expériences de physique pure. Quand un moteur électro-magnétique, par exemple, soulève un poids représenté par 131 kilogrammètres, il

donne, pour le même travail chimique dans un calorimètre, 308 calories de moins que dans toutes les expériences (1).

De même tout effort musculaire répond à une plus grande consommation d'oxygène et à un développement appréciable de chaleur sensible; mais cette quantité de chaleur sensible est d'autant moins grande, pour un même poids d'oxygène absorbé, que le travail mécanique accompli a été plus considérable. Cette proposition générale se dégage de diverses expériences, parmi lesquelles les plus importantes sont sûrement celles de M. Hirn, de Colmar (2), qui a étudié, au point de vue de la production de chaleur et de travail, des hommes montant sur une roue tournante, dont les échelons fuyaient sous leurs pieds. Il notait la quantité d'acide carbonique exhalé par les poumons, d'abord à l'état de repos, puis pendant le travail. Il mesurait aussi la quantité d'air inspiré et expiré, et simultanément la somme des kilogrammètres produits.

Les expériences de M. V. Regnault ont montré que, chez un chien soumis à une alimentation mixte, sur 100 parties d'oxygène absorbé, 7 sont employées à faire de l'eau, en se combinant avec l'hydrogène des substances organiques. Or les chaleurs de combustion du carbone et de l'hydrogène sont connues; on peut donc, étant donnée la quantité d'acide carbonique exhalé, évaluer la somme de chaleur produite et la comparer aux kilogrammètres du travail extérieur. On trouve ainsi que l'homme peut utiliser en travail extérieur environ un cinquième de la chaleur totale développée par les combustions internes.

Les chiffres obtenus par le procédé que nous venons de

(1) Matteucci, *Revue scientifique*, 1866, nº 50.

(2) *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Colmar*, 4e année, 1863.

décrire, ne sont évidemment qu'approximatifs. L'oxygène exhalé par les poumons sous forme d'acide carbonique, même en y ajoutant la quantité d'oxygène qui a dû former de l'eau, d'après les observations de V. Regnault, ne représente pas tout l'oxygène absorbé. La surface cutanée, elle aussi, respire et exhale de l'acide carbonique. Enfin une très-notable portion d'oxygène sert à former, aux dépens des substances albuminoïdes, d'une part, des principes immédiats azotés, régressifs, cristallisables, comme l'urée; et, d'autre part, des sulfates, des phosphates, etc., tous corps éliminés par les reins, la sueur, etc.

Pour serrer de plus près la vérité, il faudrait ajouter à cette étude directe des produits de l'exhalation pulmonaire l'étude comparative des aliments et des matières excrémentitielles; c'est ce que M. Boussingault a appelé la *méthode indirecte*.

On peut, par exemple, doser les *ingesta* et les *excreta* d'un oiseau enfermé dans un ballon, en plaçant ce ballon dans un calorimètre. On constate ainsi que la chaleur développée est notablement plus grande que celle correspondant à la combustion du carbone et de l'hydrogène. L'excédant est dû, sans nul doute, à l'oxydation des albuminoïdes, dont le vrai pouvoir de combustion est mal connu encore.

Pourtant Frankland a donné le tableau de l'énergie calorifique et mécanique développée par la combustion des diverses substances alimentaires. D'après ces données, les matières alimentaires grasses fournissent plus de chaleur et de force disponible que les matières sucrées et amylacées, et celles-ci en produisent plus que les viandes de bœuf, de veau, de porc et de poisson.

D'après Frankland, 1 kilogramme de substance musculaire desséchée, purifiée dans l'éther et transformée en

urée par la combustion, développe 4368 unités de chaleur (1).

Il n'y a donc point, comme l'avait prétendu Liebig, des aliments respiratoires exclusivement destinés à être brûlés, en fournissant de la chaleur, et des aliments plastiques exclusivement destinés à être assimilés et à fournir du travail utile. Tous les aliments, toutes les substances organiques s'oxydent en fournissant de l'énergie. Cette dernière proposition a été mise hors de doute par MM. Fick et Wislicenus dans leur célèbre ascension du Faulhorn (2).

Ces observateurs, après avoir préalablement déterminé le poids de leur corps et s'être soumis pendant trente-six heures à une alimentation non azotée, montèrent sur le Faulhorn, en prenant soin de doser l'urée expulsée pendant le trajet et pendant les six heures suivantes.

Connaissant leur poids et la hauteur de la montagne au-dessus du lac de Brienz, ils avaient la somme des kilogrammètres, des unités de travail. Le poids de l'urée excrétée donnait, d'après les chiffres de Frankland, la chaleur développée par la combustion des substances albuminoïdes, et surtout du tissu musculaire. Or, les deux expérimentateurs trouvèrent que l'oxydation de matières azotées n'avait pu fournir, au maximum, que la moitié du travail extérieur accompli, sans tenir nul compte des frottements, des contractions du cœur, des mouvements thoraciques, etc.

D'autre part, le docteur Verloren a remarqué que beaucoup d'insectes se nourrissent surtout de matières albuminoïdes, au moment où ils accomplissent peu de travail musculaire, et, au contraire, ont une alimentation presque exclusivement ternaire et non azotée, quand ils tra-

(1) *Revue des cours scientifiques*, 1866-1867, p. 81.

(2) *Philosophical Magazine*, t. XXXI.

vaillent beaucoup. Il note encore que les abeilles et les papillons se nourrissent de substances très-pauvrement azotées.

Les données précédentes permettent donc d'apprécier convenablement le rôle et la valeur des diverses catégories de substances alimentaires.

CHAPITRE IV.

DES ALIMENTS.

L'aliment remplit un double rôle chez les êtres organisés; il fournit de la substance et de l'énergie. Le mouvement moléculaire est incontestablement l'essence même de la vie; toute substance organisée et vivante est un tourbillon entraînant et expulsant incessamment de nouveaux matériaux; que ces matériaux viennent à manquer, alors l'organisme se détruit, se dévore lui-même. Il faut donc rejeter l'opinion de quelques physiologistes modernes, qui, éblouis par la grandeur du principe de l'unité des forces physiques, en sont arrivés à ne plus voir que le côté dynamique des phénomènes, à intrôner de nouveau le spiritualisme en biologie et à prétendre, par exemple, que la fibre musculaire se contracte sans s'user.

Il n'est pas de fonctionnement organique sans usure des organes, il n'est point de vie durable sans la réparation de cette usure par les aliments.

Mais il n'y a pas non plus de catégories bien tranchées parmi les substances alimentaires. Les unes fournissent plus de force ou de mouvement que de substance, les autres plus de substance que de force; mais toutes fournissent à la fois de la substance et de la force, si l'on en excepte l'eau et certains sels inoxydables. L'eau sert surtout de véhicule, d'eau d'imbibition, de composition. Certains sels, comme le chlorure de sodium, sont employés seulement à activer l'absorption, à accélérer les mouvements nutritifs. Ce sont des aliments minéraux.

Quant aux aliments organiques, tous sont à la fois respiratoires et plastiques. Les aliments ternaires ou

hydro-carbonés eux-mêmes peuvent se fixer, dans les tissus animaux, sous forme de graisse ; mais il est sûr qu'ils brûlent en très-grande partie, en donnant pour résidu de leur combustion complète de l'eau et de l'acide carbonique. Ils représentent évidemment la grande source du mouvement calorifique. Quant aux aliments quaternaires azotés, ils brûlent en notable partie, incomplétement, il est vrai, en fournissant à la fois des matériaux assimilables, qui séjournent un temps dans l'organisme, et aussi de la chaleur sensible et du mouvement dynamique. Nulle limite infranchissable, du reste, entre ces deux groupes d'aliments, puisque Cl. Bernard et Lehmann ont prouvé que les aliments albuminoïdes pouvaient se métamorphoser partiellement en sucre et former ainsi des substances totalement oxydables, des aliments *respiratoires*. D'ordinaire, cependant, ces substances ne subissent que des oxydations incomplètes, des dédoublements, des métamorphoses isomériques, des catalyses. Ces réactions variées, qui produisent cependant de la chaleur, laissent pour résidus excrémentitiels des composés azotés beaucoup plus oxydés que les substances quaternaires d'où ils dérivent. Ces déchets azotés se composent de leucine, de tyrosine, de créatine, d'acide urique, enfin d'urée, qui est le produit le plus azoté de la série. Ainsi, pour 1 équivalent d'oxygène, l'albumine contiendrait 3 équivalents trois quarts de carbone, la créatine 2 équivalents, l'acide urique 1 et demi, et l'urée 1 seulement (1).

La valeur des aliments dépend donc, d'une part, de la quantité de mouvement ou de force; d'autre part, de la quantité de molécules assimilables, qu'ils peuvent fournir.

Un aliment ternaire vaudra d'autant plus qu'il con-

(1) G. Sée, *De l'alimentation* (*Revue scientifique*, 1866, n° 35).

tiendra moins d'oxygène et plus d'hydrogène et de carbone.

Un aliment quaternaire vaudra d'autant plus, qu'il sera plus riche en azote, carbone et hydrogène, plus pauvre en oxygène.

Toute substance complétement oxydée ne peut plus jouer dans l'économie, au point de vue alimentaire, qu'un rôle secondaire (eau, sel marin). Aussi l'urée, qui contient encore beaucoup d'azote, n'a plus aucune valeur alimentaire.

L'expérience a montré que la machine animale a besoin à la fois d'aliments ternaires et d'aliments quaternaires. Le régime exclusivement non azoté et le régime exclusivement azoté produisent également l'un et l'autre les mêmes désordres que l'abstinence. L'équilibre entre l'azote absorbé et l'azote dépensé se maintient à la seule condition que le même équilibre se maintienne aussi pour le carbone (Voït, Boussingault) (1).

Il faut donc à l'homme un régime mixte, compensant à la fois les pertes de mouvement et les pertes de substance. Les aliments ternaires doivent entrer dans l'alimentation en proportion d'autant plus grande que l'on dépense plus de force musculaire, et que la température extérieure est plus basse. Les habitants des pays chauds ont besoin de peu d'aliments ; au contraire, les Esquimaux des régions arctiques mangent par jour jusqu'à 8 kilogrammes de chair crue, contenant environ un tiers de graisse ; ils boivent de l'huile de phoque, avalent des morceaux d'huile de baleine congelée. Le docteur Hayes rapporte que ses marins européens, hivernant dans les régions polaires, durent s'astreindre au régime des Esquimaux.

Mais la valeur dynamique des substances quaternaires

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1846, t. XVIII.

n'en est pas moins très-considérable. Dans son *Traité de zootechnie* (1), M. A. Sanson a essayé de déterminer le coefficient dynamique de ces substances. Pour cela, il a comparé la somme des kilogrammètres fournis en un jour par les chevaux d'omnibus et les chevaux de poste de Paris au poids des substances albuminoïdes contenues dans leur ration alimentaire. Défalcation faite de la portion d'albuminoïdes nécessaire à l'entretien simple de l'animal, conformément aux données empiriques, il a pensé n'avoir plus qu'à diviser la somme des kilogrammètres par le nombre de grammes des albuminoïdes consommés par le travail. En procédant ainsi, on trouve que, chez le cheval, 1 kilogramme de substances albuminoïdes produit, en nombre rond, 1 600 000 kilogrammètres utilisables. Mais ce chiffre, évidemment, est beaucoup trop fort, puisque M. Sanson n'a tenu nul compte de la valeur dynamique des substances ternaires contenues dans la ration.

Parmi toutes les substances alimentaires dont use l'homme, le lait seul, qui contient en proportions à peu près égales des matières protéiques, de la graisse et du sucre, est un aliment complet, et si les animaux exclusivement carnivores vivent néanmoins, c'est qu'ils trouvent toujours, dans le corps de leurs proies, des réserves de matières grasses et sucrées.

Nous voici parvenu au terme de notre longue exposition. Le lecteur nous pardonnera d'en avoir fait surtout une longue énumération de faits. La science a, de nos jours, abjuré ses erreurs de jeunesse, elle ne se nourrit plus guère que d'observations et d'expériences. La philosophie est en voie d'imiter la science, dont elle ne sera un jour que le couronnement. De plus en plus on se persuade que, sans l'observation et l'expérience, il n'est point de savoir réel.

(1) A. Sanson, *Traité de zootechnie*, etc., 2e édit., 1874, t I.

Pour terminer notre œuvre, il nous reste à dire encore quelques mots d'une vaste théorie générale aujourd'hui presque partout admise. Nous voulons parler de la grande loi de balancement entre les deux règnes organiques. Qu'il y ait beaucoup de vérité dans cette vue d'ensemble, on ne le saurait nier. Il est certain, d'une manière générale, que le règne végétal fabrique les aliments du règne animal. Mais il ne faut point formuler cette proposition avec trop de rigueur. Tout d'abord, il faut bien regarder comme soustraits à la loi d'alternance les champignons d'une part, la faune des profondeurs océaniennes d'autre part. Enfin, il n'y a point d'antagonisme complet entre la machine végétale et la machine animale. Le rôle comburant n'est point dévolu uniquement à l'animal. Les tissus végétaux s'oxydent comme les tissus animaux, comme tout ce qui vit.

Enfin l'animal, lui aussi, fabrique des amides et du sucre.

Il est moins sage encore de s'attacher exclusivement à un seul des actes nutritifs de la plante, de tenir compte seulement de la décomposition de l'acide carbonique. Sans doute, la plante à chlorophylle dissocie les éléments de l'acide carbonique et fixe dans ses tissus les atomes de carbone; sans doute encore, la fonction chlorophyllienne dépend strictement de la lumière solaire, et l'on a le droit de regarder le travail accompli par la cellule à chlorophylle comme une transformation dynamique de la radiation du soleil. Mais la décomposition de l'acide carbonique ne représente point tout le travail effectué par les parties vertes des plantes. Ces organes sont sûrement des appareils de synthèse organique, des laboratoires où se forment à la fois des composés ternaires et des composés quaternaires. M. G. Ville (1) a montré que des graines se-

(1) G. Ville, *Assimilation de l'azote par les plantes* (*Revue scientifique*, 1866, n° 8).

mées dans du sable calciné, arrosées avec de l'eau distillée, cultivées dans l'intérieur d'une cloche à parois de verre, que traverse un courant d'air purifié, donnaient un excédant d'azote lors de leur récolte. Pourtant, il n'avait ajouté au sable, dans lequel plongeaient les racines, que du phosphate de chaux, de la potasse, de la chaux, de l'oxyde de fer, du sulfate de chaux. D'autre part, le même expérimentateur a trouvé normalement un excédant d'azote dans les récoltes de plusieurs de nos plantes domestiques. Enfin, il a pu conclure de ses observations et expériences, que, durant la germination, tout végétal a besoin de trouver à sa portée une certaine provision d'azote toute préparée. C'est dans leurs cotylédons que certaines espèces, par exemple les légumineuses, prennent cette quantité d'azote, cet azote de développement. Quant aux plantes moins bien douées, elles ont besoin de trouver dans le sol, sous forme d'engrais, l'azote qui leur est indispensable et qu'elles sont impuissantes encore à se procurer autrement. Mais, quand la germination est terminée, quand la plante est pourvue de feuilles à chlorophylle, elle s'assimile directement de l'azote pris dans le grand réservoir atmosphérique. C'est alors qu'elle forme, par synthèse, à la fois les amides et les substances albuminoïdes, dont elle a besoin pour croître et se reproduire. Que les feuilles vertes fabriquent des substances albuminoïdes, cela ressort déjà du seul fait que la séve ascendante n'en apporte pas aux cellules chlorophylliennes et que pourtant la séve descendante en emporte (1).

L'importante élaboration chimique des cellules à chlorophylle est donc moins simple qu'elle ne le semble à

(1) La séve montante de la vigne (les larmes de la vigne) ne donne pas, par la chaleur, de précipité albumineux; par la distillation, il s'y forme un dépôt notable de gomme; des réactifs appropriés y décèlent la présence de quelques substances salines.

première vue; c'est en même temps un travail de dissociation et de composition, d'analyse et de synthèse. Sans doute, s'il n'est pas bien sûr que la radiation solaire fournisse à la feuille toute l'énergie mécanique qu'elle déploie, puisque tout atome, toute molécule possèdent des affinités propres, pourtant ce sont bien les vibrations émanant du soleil, qui donnent le branle à tout ce travail chimique, qui en sont la cheville ouvrière. On est donc autorisé, dans une très-large mesure, à dire que la plante emmagasine de la radiation solaire, c'est-à-dire du mouvement, que l'animal utilise ensuite en le transformant. Le résultat des combustions qui s'opèrent dans nos tissus et dans nos foyers, est bien la mise en liberté d'énergies immobilisées par la plante. Tous les actes, tous les mouvements, tous les faits de conscience des animaux et de l'homme sont, au moins pour une large part, des transformations de l'énergie solaire.

Mais, dans cette vaste conception, qui contient tant de vérité, il importe que la force ne fasse pas oublier la matière. En effet, il y a dans le monde autre chose que du dynamisme. Sans doute, les êtres organisés reçoivent bien du soleil, par l'intermédiaire des milieux interplanétaires, des impulsions, des mouvements, qu'ils utilisent et transforment; mais la substance de ces êtres a, elle aussi, son existence propre et sa sphère d'activité.

En réalité, il n'y a, dans l'univers, ni force distincte de la matière, ni matière privée de force. Si la dynamique du monde nous fait voir partout une seule force, un seul mouvement, changeant toujours de mode, de rhythme, sans s'anéantir jamais, c'est que partout aussi il y a une seule substance étendue, véritable Protée, fluant en une infinité de combinaisons, mais éternellement, et sans pouvoir s'immobiliser ou s'évanouir; c'est qu'en définitive, ainsi que le démontrent surabondamment toutes les

sciences naturelles et aussi la longue exposition analytique contenue dans ce volume, il y a unité de matière, comme il y a unité de force, ou plutôt, c'est que le mouvement est inhérent à la matière, c'est que l'univers est constitué par une substance en mouvement.

FIN.

TABLE ANALYTIQUE.
